

**RANCANG BANGUN MESIN PENETAS TELUR ITIK MUSCOVY
(CAIRINA MOSCHATA) BERBAHAN DASAR KERAMIK DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL SUHU DENGAN SENSOR
LM 35DZ**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

ADETIA LITA AGUSTINA HARAHAHAP

NIM 13306141005

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**RANCANG BANGUN MESIN PENETAS TELUR ITIK MUSCOVY
(CAIRINA MOSCHATA) BERBAHAN DASAR KERAMIK DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL SUHU DENGAN SENSOR
LM 35DZ**

Disusun oleh :

Adetia Lita Agustina. H

NIM 13306141005

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk
dilaksanakan Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang
bersangkutan,

Yogyakarta, 2 Januari 2018
Disetujui,
Dosen Pembimbing,

Agus Purwanto, M.Sc.
NIP. 19650813 199512 1 001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Adetia Lita Agustina Harahap
NIM : 13306141005
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Itik Muscovy
(*Chairina Moschata*) Berbahan Dasar Keramik
Menggunakan Sistem Kontrol Suhu Dengan Sensor LM
35DZ

menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri.
S sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau
diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata
penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 29 Desember 2017

Yang menyatakan



Adetia Lita A. H

NIM. 13306141005

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

RANCANG BANGUN MESIN PENETAS TELUR ITIK MUSCOVY (*CHAIRINA MOSCHATA*) BERBAHAN DASAR KERAMIK MENGUNAKAN SISTEM KONTROL SUHU LM 35DZ

Disusun oleh :

Adetia Lita Agustina. H

NIM 13306141005

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta

Pada tanggal 10 Januari 2018

TIM PENGUJI

Nama/ Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Agus Purwanto, M. Sc Ketua Penguji/ Pembimbing		18-01-2018
Laila Katriani, M. Si Sekretaris		18-01-2018
Nur Kadarisman, M. Si Penguji Utama		18-01-2018

Yogyakarta, 19-01-2018

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

MOTTO

"Keberuntungan akan memihak pada orang - orang yang berjuang dan berusaha"

"Barangsiapa yang sabar akan disabarkan Allah, dan tidak ada pemberian Allah yang paling luas dan lebih baik daripada kesabaran". (HR. Bukhari, Muslim, Ahmad, at-Tirmidzi, Nasa'i, Abu Dawud, Malik dan Ad-Darimi)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirohim. Segala puji bagi Allah SWT, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Kita berlindung kepada Allah dari kejahatan dan keburukan amal kita. Dengan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibu (Sri Winarni) dan bapak (Ruslizar Harahap) tersayang, yang penuh dengan segala ketulusan cintanya telah menorehkan semua kasih sayang, doa yang tiada hentinya, dan selalu menjadi motivator utama yang selalu membimbing saya dalam segala hal.
2. Kakak dan adik tercinta (Muhammad Fatwa Nazarullah. H, Desi Pramadhani. H, Yunizar Rahma Ningsih) yang selalu memberikan warna pada hidup saya.
3. Bapak Agus Purwanto, M. Sc selaku dosen pembimbing yang senantiasa dengan sabar dan ikhlas membimbing saya mengerjakan tugas akhir ini.
4. Sahabat tersayang (Dea, Patim, Yulis, Suwarni, Riza, Wida, Andri, Nanda, Fani, Arum, Iin, Gio, Putri, Gina, Dila, Nura dan Zula) terima kasih telah memberikan kasih sayang dan menemani suka maupun duka.
5. Kawan – kawan Purbalingga (Sufitriani, Riska, Yoga, Alia, dan Iyus) yang membantu dan memberikan dukungannya.
6. Sahabat elins (Riski, Surya, Riva, Ulla, Adeus, Widhi, Toni, Evi, Dina, Fiqi dan Yoga) yang membagikan ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan.
7. Keluarga Fisika B 2013, Kelompok KKN 49 ND dan Divisi Laser yang selalu memberikan semangat.

**RANCANG BANGUN MESIN PENETAS TELUR ITIK MUSCOVY
(CHAIRINA MOSCHATA) BERBAHAN DASAR KERAMIK
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL SUHU DENGAN SENSOR LM
35DZ**

Oleh:

Adetia Lita Agustina Harahap
13306141005

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat penetas telur itik muscovy berbahan dasar keramik sesuai dengan *set point* suhu yang dibutuhkan dan menganalisis sistem kontrol suhu pada alat penetas telur otomatis dengan menggunakan rangkaian otomatis.

Suhu ruang penetasan telur itik muscovy dikontrol menggunakan rangkaian kontrol suhu dengan menggunakan dua masukan pada penguat selisih IC LM358 yang berfungsi sebagai tegangan referensi (V_{ref}) yang merupakan *output* dari rangkaian pembagi tegangan dan sinyal *feedback* dari sensor suhu LM35 DZ sebagai tegangan input (V_{in}). Dengan adanya dua *input* pada penguat selisih, maka penguat (OP – AMP) akan merespon dua *input* tersebut dan melakukan proses perbandingan dengan hasil yaitu sinyal *error*. *Output* dari LM 358 dengan polaritas positif (+) lebih dari 0,77 V akan membuat transistor yang difungsikan sebagai *switching* mencapai *ON* (saturasi). Akibat dari saturasi tersebut *relay* yang digunakan sebagai saklar akan aktif sehingga arus yang mengalir ke elemen panas (kawat Nikelin) akan menghasilkan panas. Alat penetas telur ini diatur pada suhu berkisar antara (37,5 – 38,5)°C. Sistem pemanas diisolasi dengan baik, sehingga inkubator keramik dapat bekerja dengan jumlah penggunaan energi listrik sebesar 7,5 kWh.

Alat ini memiliki kapasitas 30 butir telur, namun dalam penelitian hanya 20 butir yang telah diuji coba untuk menetas telur dengan baik dengan hasil pengukuran kelembaban mesin tetas keramik adalah 70% - 74%. Pada pengujian pertama, jumlah telur yang ditetaskan sebanyak 20 butir dengan tingkat keberhasilan 55%. Untuk uji kedua jumlah telur yang ditetaskan sebanyak 20 butir dengan tingkat keberhasilan 60%.

Kata Kunci : Itik muscovy, suhu, LM 35, penetas telur, sistem kontrol, keramik.

DESIGN OF MUSCOVY DUCK'S EGG INCUBATOR (CHAIRINA MOSCHATA) MADE FROM CERAMIC USING TEMPERATURE CONTROL SYSTEM BASED ON LM 35 DZ SENSOR

By
Adetia Lita Agustina Harahap
13306141005

ABSTRACT

This research aims to design muscovy duck's egg incubator made from ceramic in accordance with the desire set point and to analyze the temperature control system on the egg incubator by using automatic control system circuit.

The temperature in muscovy duck's egg incubator was controlled by a circuit of temperature transducer using two inputs into differential amplifier IC LM 358. The two inputs were (V_{ref}) which was the output of the voltage divider circuit and feedback signal from the temperature sensor LM 35 DZ as the input voltage (V_{in}). Two inputs on the differential amplifier caused the amplifier responded by comparing the two inputs and produced an error signal. If the output of the LM 358 was greater than 0,77 V, then switching transistor reached saturation. The saturation caused the switch to be active so that the heating elements (Nikelin wire) would produce heat. This unit was able to control the temperature between (37,5 – 38,5)°C. The heating system was well isolated, so that ceramic incubator worked with the amount of electricity usage of 7,5 kWh.

The capacity of this unit was 30 eggs, but only 20 eggs which had been tested properly. The humidity of ceramic incubator was 70% - 74%. During the first trial number of eggs hatched were 20, with percentage of hatching was 55%. For the second trial the number of eggs hatched were 20, with percentage of hatching was 60%.

Key words: muscovy duck, temperature, LM 35, egg incubator, control system, ceramic.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan judul “RANCANG BANGUN MESIN PENETAS TELUR ITIK MUSCOVY (*CHAIRINA MOSCHATA*) BERBAHAN DASAR KERAMIK MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL SUHU DENGAN SENSOR LM 35DZ” dapat disusun sesuai harapan.

Penelitian dan penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Agus Purwanto, M. Sc selaku Dosen Pembimbing TAS yang telah banyak memberikan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Tim Penguji Skripsi yang sudah memberikan koreksi perbaikan secara komprehensif terhadap TAS ini.
3. Yusman Wiyatmo, M. Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Nur Kadarisman. M. Si selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah memberikan bantuan dan fasilitas selama proses penyusunan proposal sampai dengan selesainya TAS ini.
4. Dr. Hartono, M. Si selaku Dekan FMIPA yang memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi.
5. Semua Dosen Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya dan bimbingan selama perkuliahan dan staf yang telah memberikan bantuan selama proses penyusunan proposal sampai dengan selesainya TAS ini.
6. Rekan satu konsentrasi ELINS yang telah bersedia membantu dan bertukar pikiran dalam melakukan penelitian.
7. Teman – teman Fisika B 2013 yang selalu memberikan dorongan dan motivasinya.

8. Semua pihak, secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan di sini atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Akhirnya, semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir Skripsi ini. Oleh, karena itu saran dan kritik sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga karya ini menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 29 Desember 2017

Penulis

Adetia Lita Agustina Harahap

NIM. 13306141005

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
A. Itik Muscovy	5
B. Mesin Penetas	5
1. Kestabilan Suhu	7
2. Kelembaban	7
3. Ventilasi	8
4. Penempatan telur dalam rak telur	9
5. Pengaduk Telur	9
C. Sistem Kontrol	10
D. Perancangan Sistem Kontrol	12

1. Fungsi Alih.....	13
2. Diagram Blok.....	14
3. Prosedur Penggambaran Diagram Blok.....	18
E. Rangkain Otomatis Kontrol Suhu.....	19
1. Sensor Suhu LM 35 DZ.....	19
2. Tegangan Referensi (<i>Set Point</i>).....	22
3. Rangkaian Penguat.....	23
4. Transistor	27
5. Relay	30
F. Keramik.....	31
BAB III METODE PENELITIAN.....	32
A. Waktu dan Tempat Penelitian	32
B. Alat dan Bahan.....	32
C. Pengambilan Data	33
1. Tahap Rancang Bangun Alat.....	33
2. Tahap Pengujian Alat.....	38
D. Metode Analisis Data	41
E. Diagram Tahapan Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Analisis Rancang Bangun Alat.....	42
B. Pengujian Alat.....	58
1. Pengujian rangkaian sistem kontrol suhu	58
2. Pengujian kestabilan rangkaian sistem kontrol suhu	60
C. Pembahasan.....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol.....	10
Gambar 2. (a) Diagram blok kontroler ON – OFF ; (b) Diagram blok kontroler ON – OFF dengan jurang diferensial (Ogata, 1996: 200)	12
Gambar 3. Elemen diagram blok	14
Gambar 4. Titik Penjumlahan	15
Gambar 5. Diagram blok sistem loop tertutup	16
Gambar 6. Sistem loop tertutup	16
Gambar 7. Diagram blok awal	18
Gambar 8. Diagram blok ekuivalen	18
Gambar 9. (a) Skema pin sensor LM35DZ (Texas Instruments, ..2016: 2), dan (b) Fisik sensor LM35DZ.....	20
Gambar 10. Grafik linearitas suhu LM 35DZ.....	21
Gambar 11. Rangkaian pembagi tegangan.....	22
Gambar 12. Rangkaian pembagi tegangan.....	23
Gambar 13. Lambang Op-Amp (operational amplifier)	24
Gambar 14. Op – Amp sebagai komparator.....	25
Gambar 15. Konfigurasi pin LM 358 (Texas Instrument, 2016: 3)	25
Gambar 16. Rangkaian Penguat	26
Gambar 17. (a) Skema transistor (<i>Secos Elektronische Bauelemente</i> .A1015, 2011: 1); (b) Kurva karakteristik dan daerah kerja transistor (Setiawan dan Candra Aan, 2007: 12).....	27
Gambar 18. Transistor sebagai saklar ON	28
Gambar 19. Transistor sebagai saklar cut off (OFF).....	29
Gambar 20. Terminal/ kaki pada <i>relay</i>	31
Gambar 21. Inkubator Telur Itik muscovy.....	34
Gambar 22. Pengaduk telur.....	34
Gambar 23. Konstruksi Bak Air.....	35
Gambar 24. Peletakan lilitan kawat Nikelin	35

Gambar 25. Kondisi relay sesuai set point suhu	37
Gambar 26. Rangkaian pengujian sensitivas sensor LM 35DZ.....	38
Gambar 27. Pengujian rangkaian kontrol suhu	39
Gambar 28. Rangkaian pengujian kestabilan kontrol suhu.....	40
Gambar 29. Diagram tahap penelitian	41
Gambar 30. Grafik dan hasil dari analisis linieritas tegangan terhadap suhu	43
Gambar 31. Diagram blok sensor suhu LM 35DZ.....	45
Gambar 32. Diagram blok rangkaian pembagi tegangan.....	46
Gambar 33. Diagram blok rangkaian penguat selisih	47
Gambar 34. Diagram blok rangkaian saklar transistor.....	49
Gambar 35. Diagram blok rangkaian relay	50
Gambar 36. Diagram blok rangkaian pemanas kawat Nikelin	50
Gambar 37. Rangkaian Pemanas.....	51
Gambar 38. Gelombang tegangan AC PLN diamati dengan CRO	51
Gambar 39. Blok pemanas (lilitan kawat Nikelin).....	53
Gambar 40. Blok proses pemanasan	54
Gambar 41. Rangkaian sistem kontrol suhu	55
Gambar 42. Diagram blok keseluruhan rangkaian kontrol suhu	56
Gambar 43. Reduksi diagram blok sistem kontrol suhu	57
Gambar 44. Diagram blok ekivalen sistem kontrol suhu	57
Gambar 45. Penempatan titik – titik telur	59
Gambar 46. Grafik kestabilan suhu inkubator	60
Gambar 47. Pemetaan hasil penetasan telur tahap pertama	63
Gambar 48. Pemetaan hasil penetasan telur tahap kedua	63
Gambar 49. Pemetaan hasil penetasan telur dengan mesin tetas berbahan dasar kayu/triplek.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Beberapa penyederhanaan diagram blok (Ogata, 1996: 53).....	19
Tabel 2. Hasil karakterisasi LM 35 DZ (suhu terhadap tegangan).	42
Tabel 3. Perbandingan tegangan AC hasil analisis:	52
Tabel 4. Hasil pengukuran distribusi suhu pada mesin tetas.	58

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.	Data Pengukuran Distribusi Suhu Pada Penetas Telur Itik Muscovy ...	69
LAMPIRAN 2.	Tabel Data Kestabilan Suhu Inkubator Yang Diukur Menggunakan Thermistor NTC 10 K.	72
LAMPIRAN 3.	Tabel Data Tegangan <i>Output</i> Transformator <i>Step – Down</i> Pada <i>Software Spectra Plus</i>	74
LAMPIRAN 4.	Dokumentasi Hasil Penetasan dan Alat	88

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Itik muscovy (Indonesia: itik manila, jawa: *entog*) merupakan unggas yang cukup populer di kalangan penikmat kuliner untuk beberapa tahun terakhir ini. Hal ini menyebabkan permintaan daging itik muscovy meningkat di pasaran. Berdasarkan Direktur Pembibitan Ternak-Direktorat Jenderal Peternakan Kementerian Pertanian, Abubakar, permintaan daging itik meningkat mencapai 16,2 ribu ton pada tahun 2010. Padahal, produksinya hanya 9,6 ribu ton daging. Akibatnya terjadi kekurangan pasokan sebesar 6,6 ribu ton (Feily dan Bagus Harianto, 2012: 2). Tingginya permintaan masyarakat dan terbatasnya jumlah itik muscovy menyebabkan harga jual itik muscovy meningkat. Berdasarkan permintaan di masyarakat diperlukan alat penetas telur untuk memenuhi kebutuhan daging itik.

Penetasan buatan dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut mesin tetas atau inkubator. Pada dasarnya, mesin tetas terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu ruang penetas, alat pemanas, pengontrol suhu serta kelembaban dan rak tempat telur yang akan ditetaskan. Prinsip kerja penetasan buatan sama dengan penetasan alami, yaitu menyediakan kondisi lingkungan (temperatur, kelembaban dan sirkulasi udara) yang sesuai agar embrio dalam telur berkembang dengan optimal, sehingga telur dapat menetas (Sukardi et al., 1999).

Keberhasilan penetasan telur dengan mesin tetas akan tercapai bila memperhatikan perlakuan sebagai berikut (Paimin, 2011:12):

1. Telur tetas ditempatkan dalam mesin tetas dengan posisi yang tepat.
2. Panas (suhu) dalam ruang mesin tetas selalu dipertahankan sesuai dengan yang dibutuhkan.

3. Telur dibolak – balik beberapa kali sehari pada saat tertentu selama proses penetasan.
4. Ventilasi harus sesuai agar sirkulasi udara di dalam mesin tetas berjalan dengan baik.
5. Kelembaban udara di dalam mesin selalu dikontrol agar sesuai untuk perkembangan embrio telur.

Mesin penetas dikatakan baik jika memiliki persentase penetasan tinggi, efisiensi daya, dan mudah untuk dioperasikan.

Menurut Hermawan dan Rudi (2014:64) bahan yang digunakan untuk membuat mesin tetas adalah bahan yang mampu menahan panas dalam waktu lama dan tidak mudah terpengaruh cuaca di luar ruangan. Bahan inkubator yang ada di masyarakat kebanyakan berasal dari kayu atau logam. Penggunaan bahan dasar logam (aluminium) sebagai inkubator akan memerlukan biaya yang cukup mahal. Di samping itu, bahan inkubator dari kayu dan logam akan mempengaruhi daya tahan dan umur penggunaan mesin. Berbeda dengan bahan keramik, penggunaan keramik sebagai bahan dasar inkubator akan lebih mengoptimalkan hasil penetasan telur. Pengaturan suhu yang stabil dan merata, serta bahan ruang penetas yang mampu menyimpan panas dalam waktu lama akan lebih meningkatkan efisiensi dan produktivitas industri penetasan telur.

Selain itu, mesin penetas telur yang dijumpai di pasaran biasanya menggunakan sumber pemanas dari lampu pijar, lampu teplok atau lilitan kawat Nikelin yang diletakkan pada ruang penetas telur dan dioperasikan oleh manusia. Hal ini akan menghambat penetasan terutama dalam pengontrolan suhu karena harus mematikan lampu dan memutuskan aliran listrik pada sumber pemanas. Di samping itu, produksi alat tetas kurang menguntungkan jika diterapkan dalam industri dan juga akan berpengaruh pada hasil penetasan telur. Sehingga, pengontrolan suhu secara otomatis dengan sedikit peran manusia dalam pengoperasiannya atau yang disebut sistem kontrol akan lebih memudahkan dalam prosesnya.

Oleh karena itu, berdasarkan uraian latar belakang peneliti akan melakukan penelitian mengenai rancang bangun mesin penetasan telur itik muscovy berbahan keramik dengan sistem kontrol suhu. Penelitian ini merupakan penelitian awal penggunaan inkubator berbahan keramik melalui sistem kontrol dengan sumber pemanas kawat nikelin untuk telur itik muscovy. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Yuliani (2015) dengan skripsinya berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu pada Penetas Telur Ayam Berbahan Dasar Keramik”. Akan tetapi penelitian tersebut tidak menggunakan pemutar rak telur. Penelitian ini berusaha mengetahui kualitas dan efisiensi inkubator keramik melalui sistem kontrol dengan bahan pemanas kawat nikelin dibandingkan inkubator yang ada di pasaran.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan di atas dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Alat penetasan telur itik muscovy konvensional masih menggunakan saklar manual untuk pengaturan suhu ruang inkubator.
2. Bahan inkubator menggunakan aluminium atau kayu sehingga memerlukan dana yang besar.
3. Pengontrolan suhu yang dikerjakan secara manual mengakibatkan kurangnya efisiensi waktu dan energi listrik.

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang diteliti dibatasi pada:

1. Perancangan sistem kontrol dengan *set point* suhu yang berkisar 37,5°C – 38,5 °C, menggunakan sumber panas dari kawat Nikelin dan bahan dasar keramik sebagai inkubator penetas telur itik muscovy.
2. Rancangan alat ini tidak mempunyai kemampuan untuk mengontrol kelembaban di dalam ruang penetas telur itik muscovy.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sebuah alat penetas telur otomatis yang memiliki suhu konstan agar telur bisa ditetaskan dengan baik pada interval suhu yang dibutuhkan?
2. Bagaimana analisis sistem kontrol suhu pada alat penetas telur dengan menggunakan rangkaian otomatis pada suhu $37,5^{\circ}\text{C}$ - $38,5^{\circ}\text{C}$?
3. Berapa energi listrik yang digunakan pada alat penetas telur itik muscovy berbahan dasar keramik selama proses penetasan?
4. Bagaimana menguji efisiensi alat penetas telur yang lebih hemat energi?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang bangun sebuah alat penetas telur otomatis yang memiliki suhu konstan agar telur bisa ditetaskan dengan baik pada interval suhu yang dibutuhkan.
2. Menganalisis sistem kontrol pada alat penetas telur otomatis pada suhu $37,5^{\circ}\text{C}$ - $38,5^{\circ}\text{C}$.
3. Menghitung besar energi listrik pada alat penetas telur itik muscovy berbahan dasar keramik selama proses penetasan.
4. Menguji efisiensi alat penetas telur yang lebih hemat energi.

F. Manfaat Penelitian

Berikut hal – hal yang bisa diperoleh dari penelitian ini, antara lain :

1. Alat ini mampu memudahkan masyarakat, khususnya para peternak unggas dari segi efisiensi waktu dan energi.
2. Pembuatan dan perancangan alat penetas telur ini diharapkan mampu berfungsi dan bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Itik Muscovy

Muscovy *duck* / itik muscovy adalah unggas air yang termasuk dalam keluarga (*genus*) *Cairina* (*Cairina moschata*) berasal dari Meksiko, Amerika Tengah dan Amerika Selatan. Selain itu, unggas ini memiliki beberapa nama daerah seperti *Indian duck*, *Muscovite duck*, *Guenia duck*, *Turkish duck*, *Pato*. Sedangkan dalam konteks kuliner, unggas ini disebut bebek Barbary, dan di pulau Jawa, Indonesia bebek ini dikenal dengan mentok (entoq) atau bebek Manila. Bentuk tubuh bebek muscovy memiliki perawakan sedang hingga besar. Di alam liar, berat muscovy mencapai (3–7) kg. Sedangkan di penangkaran, muscovy jantan dapat mencapai 10 kg. Perilaku kawin bebek muscovy seperti bebek *mallard*, di mana pasangan mereka tidak bertahan lama. Saat betina mulai mengerami telur, jantan akan meninggalkannya dan bergabung dengan kelompok jantan lainnya. Biasanya betina bersarang pada lubang-lubang pohon. Setelah bertelur sekitar (8–16) butir, ia akan mengerami telurnya. Selama itu pula induk betina jarang meninggalkan sarang, kecuali untuk mencari makan atau air (Linus, 2004: 10).

B. Mesin Penetas

Mesin tetas merupakan sebuah peti atau lemari dengan konstruksi yang dibuat sedemikian rupa supaya panas di dalamnya tidak terbuang. Suhu di dalam ruangan mesin tetas dapat diatur sesuai dengan derajat panas yang dibutuhkan selama periode penetasan. Prinsip kerja penetasan telur dengan mesin tetas sama dengan induk unggas (Paimin, 2011:11).

Menurut Hermawan dan Rudi (2014:64) bahan yang digunakan untuk membuat mesin tetas adalah bahan yang mampu menahan panas yang cukup lama dan tidak mudah terpengaruh cuaca di luar ruangan. Selain itu bahan tidak mudah berubah karena perubahan suhu. Ruang penetasan bisa dibuat dari berbagai jenis bahan, baik dari bahan logam, kayu, atau bahan – bahan yang

ada di sekitar kita yang dapat dimodifikasi sebagai ruang penetasan, misalnya keramik.

Hampir semua bangsa itik (*Anas platyrhynchos*) mempunyai periode inkubasi selama 28 hari, kecuali itik muscovy/entoq (*Cairina moschata*) yang membutuhkan waktu (33-35) hari. Telur itik mempunyai reputasi sulit untuk ditetaskan dibanding dengan telur ayam karena waktu tetas pada telur itik lebih lama, sehingga lebih banyak waktu untuk berbuat salah. Banyak faktor yang mempengaruhi rendahnya daya tetas, antara lain: cara/metode penetasan, pengaturan suhu inkubator, kebersihan telur, pengumpulan dan penyimpanan telur, ukuran dan bentuk telur dan faktor-faktor lain yang masih belum diketahui (Kortlang, 1985).

Telur itik yang akan ditetaskan hendaknya dipilih dari kelompok itik yang mempunyai produksi tinggi. Hal ini penting dilakukan karena kelompok itik yang produktif cenderung akan dapat menghasilkan itik yang mempunyai potensi produksi telur yang baik pula (Hetzell, 1985). Selain itu, kelompok tersebut harus mempunyai jumlah pejantan yang cukup agar telur yang dihasilkan mempunyai daya tunas (fertilitas) yang tinggi. Selain ukuran telur yang ideal, telur itik yang ditetaskan harus bersih dari berbagai kotoran yang melekat pada kerabang telur. Pemberian sangkar dalam kandang itik dan pembersihan sangkar secara teratur serta penggantian litter dapat menghasilkan telur-telur yang bersih. Menurut Kortlang (1985), seleksi telur yang baik untuk ditetaskan dapat meningkatkan daya tetas sebesar 5%. Berat telur itik yang baik untuk ditetaskan antara (65-75) gram dengan bentuk yang normal. Kerusakan telur tetas umumnya terjadi beberapa jam setelah ditelurkan, karena perubahan suhu telur dari suhu tubuh (37,5°C) ke suhu kamar yang lebih rendah menyebabkan penyusutan isi telur. Bakteri dengan mudah dapat masuk melalui pori-pori telur, dan apabila sudah berada di dalam telur sulit sekali untuk dibunuh tanpa membunuh embrio yang ada. Bakteri yang diinkubasi bersama-sama dengan telur dapat membunuh embrio itik apabila mencapai konsentrasi yang tinggi. Telur tetas sebaiknya difumigasi dengan menggunakan 85 gram *potassium permanganate* dan 114 gram *formaldehyde* untuk ruang

pengeraman/penetasan. Fumigasi ini telah diklaim dapat membunuh bakteri *Salmonella*. Jenis bakteri ini merupakan penyebab rendahnya daya tetas telur itik. Tanda-tanda spesifik dari kontaminasi ini adalah adanya kematian embrio yang tinggi pada hari ke-4 dan 5. Kondisi penetasan yang hangat dan lembab merupakan lingkungan yang baik untuk berkembangnya mikroorganisme pembusuk seperti *Salmonella spp* dan *Pseudomonas spp*. Setiadi et al. (1992) menjelaskan bahwa tingkat kematian embrio dan angka kematian *Day Old Duck* (DOD) pada penetasan dengan indukan itik muscovy lebih tinggi dibanding dengan mesin tetas, karena faktor kebersihan induk itik muscovy yang berpengaruh pada perkembangan embrio.

Agar penetasan mendapat hasil yang baik, ada beberapa kondisi yang harus diperhatikan, antara lain:

1. Kestabilan Suhu

Embrio di dalam telur itik muscovy akan cepat berkembang selama suhu telur berada pada kondisi yang sesuai dan akan berhenti berkembang jika suhunya kurang dari yang dibutuhkan. Suhu untuk penetasan telur setiap unggas berbeda – beda. Sebelum telur tetas dimasukkan ke dalam ruang penetasan, suhu ruang tersebut harus sesuai dengan yang dibutuhkan. Suhu untuk perkembangan embrio itik muscovy sekitar (37,5-38,5) °C. Namun, sumber panas yang digunakan untuk mencapai suhu yang dibutuhkan biasanya kurang stabil. Untuk itu, kontrol suhu di dalam ruang penetasan harus dilakukan setiap hari selama masa penetasan. Proses pengontrolan suhu penetasan yang kurang diperhatikan akan menggagalkan proses penetasan (Paimin, 2011:16).

2. Kelembaban

Kelembaban udara berfungsi untuk mengurangi atau menjaga cairan dalam telur dan merapuhkan kerabang telur. Jika kelembaban tidak optimal, anak itik tidak akan mampu memecahkan kerabang yang terlalu keras. Namun kelembaban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan air masuk melalui pori – pori kerabang, lalu terjadi penimbunan cairan di dalam telur.

Akibatnya, embrio tidak dapat bernapas dan akhirnya mati (Tirto Hartono dan Isman, 2012:13). Kelembaban juga mempengaruhi proses metabolisme pada embrio. Tingkat kelembaban juga mempengaruhi proses metabolisme kalsium (Ca) pada embrio. Saat kelembaban tinggi, perpindahan Ca dari kerabang telur ke tulang–tulang dalam perkembangan embrio akan lebih banyak. Pertumbuhan embrio dapat diperlambat oleh keadaan kelembaban udara yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Sementara itu, pertumbuhan embrio optimum akan diperoleh pada kelembaban mendekati maksimum. Biasanya kelembaban dapat diatur dengan pemberian air ke dalam wadah ceper dan diletakkan di dalam mesin tetas. Munculnya kelembaban di dalam ruang penetasan diakibatkan oleh suhu yang meningkat. Adanya peningkatan suhu tersebut dapat menguapkan air yang ada di dalamnya sehingga tercipta kelembaban (Paimin, 2011: 16 - 17).

3. Ventilasi

Ventilasi memegang peranan yang sangat penting sebagai sumber oksigen embrio untuk bernapas. Ventilasi juga menjadi kunci penyeimbang antara kelembaban dan suhu. Jika ventilasi lancar maka kelembaban bisa berkurang. Namun, jika ventilasi terhambat maka suhu dan kelembaban mesin akan meningkat. Kesalahan sistem ventilasi dapat menyebabkan embrio mengalami kelebihan cairan dan mati karena kelembaban terlalu tinggi (Tirto Hartono dan Isman, 2012:15).

Dalam perkembangan normal, embrio membutuhkan oksigen (O_2) dan mengeluarkan CO_2 melalui pori – pori kerabang telur. Untuk itu, di dalam mesin tetas harus cukup tersedia O_2 sehingga pertukaran udara sangat diperlukan. Kekurangan O_2 akan berakibat embrio gagal berkembang. Kebutuhan O_2 ini diperoleh melalui lubang ventilasi. Adanya lubang ventilasi ini menyebabkan CO_2 keluar dari mesin tetas dan akan digantikan oleh O_2 . Jumlah O_2 yang dibutuhkan untuk perkembangan embrio akan semakin tinggi bila embrionya semakin besar. Kebutuhan tersebut dapat tercapai dengan cara pengaturan lubang ventilasi pada mesin tetas. Dengan demikian, pada awal penetasan lubang ventilasi harus dibuka $\frac{1}{4}$ bagian dan

semakin dibuka lebar menjelang telur menetas. Kadar CO₂ dalam mesin tetas sangat erat kaitannya dengan kondisi kebersihan telur tetas. Bila kerabang telur tertutup kotoran, pertukaran O₂ masih kurang. Pada saat telur tetas dimasukkan ke dalam mesin tetas, ventilasi harus dalam keadaan tertutup. Menjelang hari ke tiga, biasanya suhu meningkat sekitar 0,55°C. Bertambahnya suhu disebabkan oleh embrio dalam telur sedang berkembang dan mulai melepaskan CO₂ melalui pori – pori kulit telur. Agar pertukaran gas semakin baik, ventilasi perlu diaktifkan. Lubang ventilasi dapat dibuka pada hari keempat sebesar ¼ bagian, hari kelima ½ bagian, hari keenam ¾ bagian, serta hari ketujuh dan seterusnya dibuka seluruhnya (Paimin, 2011: 18).

4. Penempatan telur dalam rak telur

Rak telur merupakan bagian mesin tetas yang sangat berperan penting terhadap kesuksesan program penetasan telur. Rak telur dibuat dengan memperhatikan syarat diantaranya ialah panas yang diterima merata, telur tidak terganggu, telur mudah dikeluarkan dari mesin, dan kedudukan telur dapat diatur sehingga bagian tumpul menghadap ke atas (Paimin, 2011: 60).

5. Pengaduk Telur

Hermawan dan Rudi (2014: 16 -17) menyatakan bahwa pembalikan telur memiliki tujuan untuk meratakan panas yang diterima telur selama periode penetasan, dan mencegah agar embrio tidak lengket pada salah satu sisi kulit telur. Pembalikan dilakukan secara berkala, sebanyak 3 kali sehari yaitu pagi, siang dan sore/malam. Pembalikan telur dilakukan mulai hari keempat sampai telur menetas. Teknik membalik telur:

- a. Melakukan pembalikan selama beberapa menit saja.
- b. Menandai salah satu sisi atau dua sisi bagian telur agar tidak keliru sehingga panasnya merata.
- c. Telur yang diletakkan dengan ujung tumpul di atas hanya digerakkan ke salah satu arah pada sumbunya, yaitu ke kanan atau ke kiri dari posisi semula.

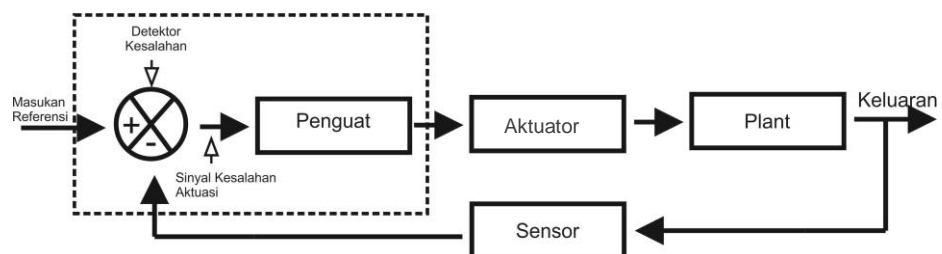
- d. Jangan membalik telur dengan pola lingkaran, yaitu bagian telur tumpul diputar sehingga berada di bagian bawah. Hal ini dapat menyebabkan kantung udara pecah sehingga menyebabkan embrio mati.

Menurut Hermawan dan Rudi (2014: 38) pembalikan telur tidak boleh dilakukan pada 3 hari terakhir menjelang telur menetas. Hal ini dilakukan karena embrio yang akan menetas tersebut sedang bergerak pada posisi menetasnya.

C. Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah sistem yang membandingkan nilai sebenarnya dari keluaran sistem secara keseluruhan (*plant*) dengan mengacu pada masukan (nilai yang dikehendaki), menentukan penyimpangan, dan menghasilkan sinyal kendali yang mengurangi penyimpangan menjadi nol atau nilai yang kecil.

Menurut Mandal (2006: 20), sistem kontrol diklasifikasikan menjadi tipe *self-correcting* dan tipe *non self-correcting*. Maksud *self-correcting* adalah kemampuan sistem untuk memantau, mengukur dan memeriksa variabel tertentu dan mengoreksi sistem apabila variabel tersebut melebihi batas yang telah ditentukan tanpa adanya campur tangan manusia. Sistem dengan kemampuan seperti itu disebut sebagai *feedback system* atau *closed loop system*. Sedangkan tipe *non self-correcting* adalah kebalikan dari tipe *self-correcting* dan sering disebut sebagai *open loop system*.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem kontrol, yang terdiri atas pengendali otomatis, aktuator, *plant*, dan sensor (elemen pengukur). Kontroler mendeteksi sinyal kesalahan (aktuasi), yang biasanya mempunyai tingkat daya yang sangat rendah, dan memperkuat menjadi tingkat yang tingginya mencukupi. Jadi, kontroler otomatis terdiri dari detektor kesalahan dan penguat atau *amplifier*. Sering kali rangkaian umpan balik yang sesuai, bersama dengan penguat, digunakan untuk mengubah sinyal kesalahan (aktuasi) dengan memperkuat dan kadang-kadang dengan diferensiasi dan atau integrasi untuk menghasilkan sinyal kontrol yang lebih baik. Aktuator adalah alat yang menghasilkan masukan ke *plant* sesuai dengan sinyal kontrol sedemikian sehingga sinyal umpan balik berkaitan dengan sinyal masukan acuan. Keluaran dari kontroler otomatis dimasukkan ke aktuator, misalnya katup *pneumatic*, motor hidrolik, atau motor listrik (Ogata, 1996: 197).

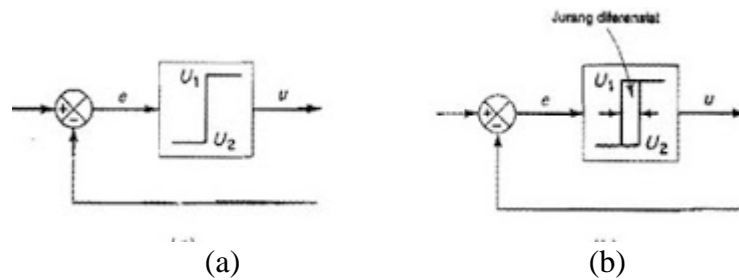
Sensor atau elemen pengukur adalah alat yang mengubah variabel keluaran menjadi variabel yang sesuai, seperti perpindahan, tekanan, atau tegangan, yang dapat digunakan untuk membandingkan keluaran dengan sinyal masukan acuan. Elemen ini berada pada jalur umpan balik dari sistem *loop* tertutup.

Perancangan sistem kontrol alat penetas telur itik muscovy menggunakan aksi kontrol dua posisi atau *ON-OFF*. Dalam sistem kontrol dua posisi, elemen kontrol hanya mempunyai dua posisi tertentu yaitu *ON* atau *OFF*. Sinyal kontrol akan tetap pada satu keadaan dan akan berubah ke keadaan lain tergantung pada nilai *error* positif atau negatif, sehingga

$$u(t) = U_1 \text{ untuk } e(t) > 0 \quad (1)$$

$$u(t) = U_2 \text{ untuk } e(t) < 0 \quad (2)$$

dimana, $u(t)$ = sinyal kontrol dan $e(t)$ = sinyal *error*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a) dan (b).



Gambar 2. (a) Diagram blok kontroler *ON – OFF* ; (b) Diagram blok kontroler *ON – OFF* dengan jurang diferensial (Ogata, 1996: 200)

Gambar 2 menunjukkan jika *output* lebih besar dari *set point*, aktuatur akan *OFF*. *Output* akan turun dengan sendirinya sehingga menyentuh *set point* lain. Pada saat ini, sinyal kontrol akan kembali *ON* (aktuatur *ON*) dan mengembalikan *output* kepada *set point*-nya. Demikian seterusnya sinyal kontrol dan aktuatur akan *ON –OFF* terus menerus. Kelemahan kontroler *ON-OFF* adalah jika *output* berosilasi di sekitar *set point*-nya akan menyebabkan kontroler akan cepat aus dan menggunakan energi yang banyak.

Menurut Ogata (1996 : 200 – 201) untuk mengatasi hal ini maka dibuat suatu *band* pada *set point* sehingga mengurangi frekuensi *ON –OFF* dari kontroler. Sinyal kontroler akan *OFF* ketika *output* menyentuh batas atas dan akan *ON* kembali ketika menyentuh batas bawah. *Band* dari *set point* ini disebut juga jurang diferensial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(b).

D. Perancangan Sistem Kontrol

Untuk analisis dan desain sistem kontrol, sistem fisis harus dibuat model fisisnya. Model fisis ini harus dapat menggambarkan karakteristik dinamis sistem tersebut secara memadai. Dari model fisis diturunkan model matematis. Model matematis diartikan sebagai hubungan matematik yang menghubungkan keluaran sistem dengan masukannya. Model matematis diperoleh dari hukum – hukum fisis yang bersangkutan seperti dinamika sistem dinamis yang dimodelkan dengan hukum – hukum Kirchoff, hukum

Ohm, dan lain – lain. Model matematis digunakan untuk memperkirakan bagaimana sistem akan memberikan tanggapan pada kondisi – kondisi spesifik yang pasti tanpa menguji sistem fisis yang sebenarnya. Suatu sistem yang memiliki model matematis tidak selalu menggambarkan model fisis yang sama (misal: analogi sistem mekanis dengan sistem elektrik).

1. Fungsi Alih

Menurut Ogata (1996: 45 – 46), dalam teori kendali fungsi yang disebut fungsi alih seringkali digunakan untuk mencari hubungan masukan dan keluaran dari sistem linear parameter konstan. Konsep fungsi alih ini hanya digunakan pada sistem linear parameter konstan. Fungsi alih sistem linear parameter konstan didefinisikan sebagai perbandingan transformasi Laplace keluaran dan transformasi Laplace masukan dengan asumsi semua kondisi awal bernilai nol. Sistem linear parameter konstan dinyatakan dengan persamaan diferensial linear berikut

$$\begin{aligned} a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y \\ = b_0 x^m + a_1 x^{m-1} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x \end{aligned} \quad (3)$$

dengan $(n \geq m)$. y adalah keluaran sistem dan x adalah masukan sistem. Fungsi alih dari sistem diperoleh dengan mencari transformasi Laplace kedua ruas persamaan (3) dengan asumsi semua keadaan awal bernilai nol.

Fungsi Alih

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{\mathcal{L}[\text{output}]}{\mathcal{L}[\text{input}]} \Big|_{\text{zero initial conditions}} \\ &= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + a_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} \end{aligned} \quad (4)$$

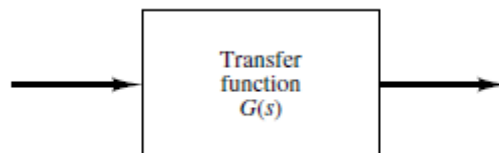
2. Diagram Blok

Ogata (1996: 48) menyatakan bahwa diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya.

a. Blok

Dalam suatu diagram blok, semua variabel sistem saling dihubungkan dengan menggunakan blok fungsional. Blok fungsional atau biasa disebut blok adalah suatu simbol operasi matematik pada sinyal masukan blok yang menghasilkan keluaran.

Fungsi transfer dari komponen biasanya ditulis di dalam blok yang dihubungkan dengan anak panah untuk menunjukkan arah aliran sinyal. Gambar 3 menunjukkan suatu elemen diagram blok. Kepala panah menuju ke arah blok menunjukkan *input*, dan panah yang mengarah menjauh dari blok mewakili *output*-nya. Panah seperti itu disebut sebagai sinyal.

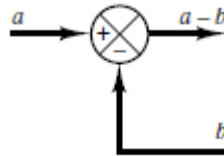


Gambar 3. Elemen diagram blok

Diagram blok mengandung informasi perilaku dinamik tetapi tidak mengandung informasi mengenai konstruksi fisis dari sistem. Oleh karena itu, beberapa sistem yang berbeda dan tidak mempunyai relasi satu sama lain dapat dinyatakan dengan blok yang sama.

b. Titik Penjumlahan

Detektor kesalahan atau titik penjumlahan menghasilkan suatu sinyal yang merupakan selisih antara sinyal masukan acuan dengan sinyal umpan balik dari sistem kendali. Penyajian diagram blok dari titik penjumlahan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Titik Penjumlahan

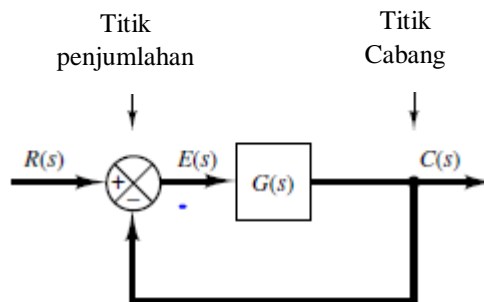
Mengacu pada Gambar 4, sebuah lingkaran dengan tanda silang adalah simbol yang menunjukkan operasi penjumlahan. Tanda plus atau minus di setiap tanda panah menunjukkan apakah sinyal itu akan ditambahkan atau dikurangkan. Hal ini penting karena besaran yang dijumlahkan atau dikurangkan harus mempunyai dimensi dan satuan yang sama.

c. Titik Cabang

Titik cabang adalah titik dimana sinyal dari satu blok berjalan secara bersamaan ke blok lain atau titik penjumlahan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

d. Diagram Blok

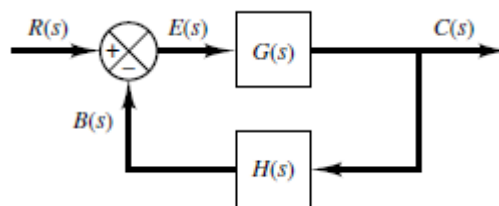
Diagram blok pada Gambar 5 menunjukkan contoh diagram blok dari sistem *loop* tertutup. *Output* $C(s)$ diumpankan kembali ke titik penjumlahan, di mana ia dibandingkan dengan *input* referensi $R(s)$. Sifat *loop* tertutup dari sistem ini jelas ditunjukkan oleh gambar tersebut. *Output* dari blok, $C(s)$ dalam kasus ini, diperoleh dengan mengalikan fungsi transfer $G(s)$ dengan *input* ke blok, $E(s)$.



Gambar 5. Diagram blok sistem loop tertutup

Sistem kontrol linier dapat diwakili oleh diagram blok yang terdiri dari blok, titik penjumlahan, dan titik cabang. Sinyal keluaran yang memiliki dimensi suhu harus dikonversi agar dapat dibandingkan dengan sinyal *input*. Konversi ini dilakukan oleh elemen umpan balik yang fungsi transfernya adalah $H(s)$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Peran elemen umpan balik adalah memodifikasi keluaran untuk dibandingkan dengan *input*-nya.

e. Fungsi transfer lingkaran terbuka dan fungsi transfer umpan maju



Gambar 6. Sistem loop tertutup

Pada Gambar 6 sinyal umpan balik $B(s)$ yang masuk ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan sinyal masukan $R(s)$ adalah:

$$B(s) = H(s) C(s) \quad (5)$$

Merujuk ke Gambar 6, rasio sinyal umpan balik $B(s)$ terhadap sinyal kesalahan/error $E(s)$ disebut fungsi transfer lingkaran terbuka yang dinyatakan seperti berikut:

$$\frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s) \quad (6)$$

Rasio *output* $C(s)$ terhadap sinyal kesalahan $E(s)$ disebut fungsi transfer umpan maju, sehingga fungsi transfer umpan maju:

$$\frac{C(s)}{E(s)} = G(s) \quad (7)$$

Untuk sistem yang ditunjukkan pada Gambar 6, keluaran $C(s)$ dan masukan $R(s)$ dihubungkan sebagai berikut :

$$C(s) = G(s)E(s) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} E(s) &= R(s) - B(s) \\ &= R(s) - H(s)C(s) \end{aligned} \quad (9)$$

Substitusi $E(s)$ dari persamaan (9) ke persamaan (8) menghasilkan:

$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)] \quad (10)$$

atau

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (11)$$

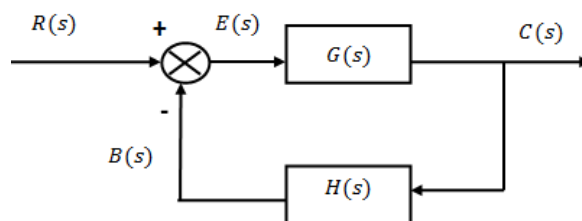
Fungsi transfer yang merelasikan $C(s)$ dengan $R(s)$ disebut fungsi transfer lingkaran tertutup. Fungsi transfer ini menghubungkan dinamika sistem lingkaran tertutup dengan dinamika elemen umpan maju dan elemen umpan balik. Dari persamaan (11), $C(s)$ dapat ditulis dalam bentuk:

$$C(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} R(s) \quad (12)$$

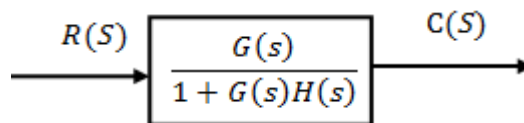
Berdasarkan persamaan (12) ini terlihat bahwa keluaran sistem lingkaran tertutup tergantung pada fungsi transfer lingkaran tertutup dan masukan aslinya.

f. Reduksi Diagram Blok

Suatu blok dapat dihubungkan dalam suatu deret hanya bila keluaran dari suatu blok tidak mempengaruhi blok selanjutnya. Apabila terjadi efek pembebanan komponennya, maka komponen-komponen tersebut perlu digabungkan dalam suatu blok. Ada beberapa aturan menyederhanakan diagram blok yang salah satu diantaranya diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Diagram blok awal



Gambar 8. Diagram blok ekuivalen

3. Prosedur Penggambaran Diagram Blok


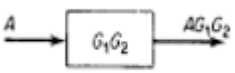

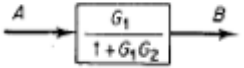
Ogata (1996: 51–52) menyatakan bahwa untuk menggambar diagram blok suatu sistem, pertama kali perlu dituliskan persamaan yang menggambarkan perilaku dinamik setiap komponen. Kemudian, persamaan tersebut diubah ke dalam transformasi Laplace dengan mengasumsikan semua syarat awal bernilai nol. Selanjutnya, masing – masing persamaan yang sudah diubah dalam bentuk transformasi Laplace digambarkan menjadi sebuah diagram blok komponen. Setelah itu, menyusun diagram blok komponen menjadi suatu diagram blok lengkap suatu sistem.

Diagram blok kompleks yang melibatkan beberapa lingkaran berumpan balik dapat disederhanakan dengan penyusunan kembali selangkah demi selangkah dengan menggunakan aturan aljabar diagram blok. Penyederhanaan diagram blok dengan cara penyusunan kembali dan substitusi sangat memudahkan tugas yang diperlukan untuk analisis matematik berikutnya. Dalam menyederhanakan diagram blok, beberapa hal yang perlu diingat adalah

1. Hasil kali fungsi alih pada arah umpan maju harus tetap sama.
2. Hasil kali fungsi alih pada pengelilingan lingkaran tertutup harus tetap sama.

Suatu aturan umum menyederhanakan diagram blok adalah memindahkan titik cabang dan titik penjumlahan, saling menukar titik penjumlahan dan kemudian menyederhanakan lingkaran umpan balik di dalamnya. Beberapa aturan penyederhanaan diagram blok diperlihatkan pada Tabel 1 berikut

Tabel 1. Beberapa penyederhanaan diagram blok (Ogata, 1996: 53)

No	Diagram blok asal	Diagram blok pengganti
1		
2		

E. Rangkain Otomatis Kontrol Suhu

1. Sensor Suhu LM 35 DZ

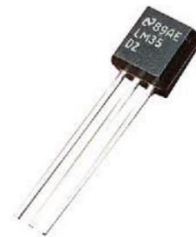
Sensor adalah elemen sistem yang secara efektif berhubungan dengan proses dimana suatu variabel sedang diukur dan menghasilkan suatu keluaran dalam bentuk tertentu tergantung pada variabel

masukannya, dan dapat digunakan oleh bagian sistem pengukuran yang lain untuk mengenali nilai variabel tersebut. Sebagai contoh adalah sensor termokopel yang memiliki masukan berupa temperatur serta keluaran berupa gaya gerak listrik (GGL) yang kecil. GGL yang kecil ini oleh bagian sistem pengukuran yang lain dapat diperkuat sehingga diperoleh pembacaan pada alat ukur (Rafiuddin Syam, 2013: 13).

Sensor suhu LM 35DZ berfungsi untuk mengubah suhu menjadi tegangan listrik, sehingga dapat dikatakan bahwa suhu merupakan variabel *input* yang dideteksi oleh sensor suhu LM 35DZ dan tegangan merupakan *output* dari sensor suhu LM 35DZ. Semakin panas atau semakin tinggi suhu yang masuk, maka tegangan keluaran sensor LM 35DZ semakin besar. Semakin dingin atau semakin rendah suhu yang masuk, tegangan keluaran sensor LM 35DZ semakin kecil (Budiharto Widodo dan Sigit Firmansyah, 2005: 119).



(a)



(b)

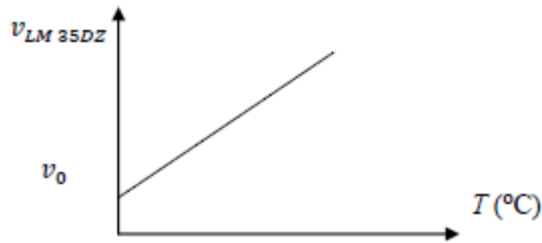
Gambar 9. (a) Skema pin sensor LM35DZ (Texas Instruments, 2016: 2), dan (b) Fisik sensor LM35DZ

Gambar 9 menunjukkan bahwa sensor LM 35DZ memiliki 3 pin kaki, yaitu $+V_s$ (*supply*), V_{out} (*output*), GND (*ground*). Berikut adalah spesifikasi sensor LM 35DZ (Texas Instrument Data Sheet, 2016) :

- a. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam skala *celcius*.

- b. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55°C sampai $+150^{\circ}\text{C}$.
- c. Bekerja pada *supply* tegangan 4 sampai 30 V.
- d. Membutuhkan *supply* arus yang rendah yaitu kurang dari $60\ \mu\text{A}$.
- e. Memiliki *self heating* yang rendah yaitu $0,08^{\circ}\text{C}$ pada udara diam.

Gambar 10 menunjukkan grafik linearitas tegangan *output* LM 35DZ terhadap perubahan suhu. Dari grafik hubungan tegangan sensor terhadap suhu diperoleh persamaan (13)



Gambar 10. Grafik linearitas suhu LM 35DZ

$$v_{LM35DZ} = v_0 + x_1 \cdot T \quad (13)$$

dimana x_1 adalah nilai sensitivitas sensor suhu LM 35DZ yaitu $10\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$, v_0 adalah tegangan mula-mula dan $T (^{\circ}\text{C})$ adalah suhu. Suhu (T) adalah hasil dari proses pemanasan ruang karena adanya *heater* sebagai sumber pemanas. Semakin lama *heater* dialiri arus, maka semakin tinggi suhu ruang. Jadi diharapkan suhu (T) merupakan fungsi waktu (t). Hubungan antara suhu (T) dan waktu (t) diharapkan linier, sehingga dapat ditulis persamaan (14)

$$T(t) = T_0 + x_2 \cdot t \quad (14)$$

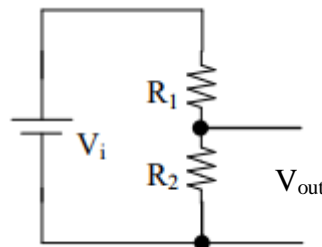
dimana T_0 adalah suhu awal sebelum kawat Nikelin dipanaskan. Substitusi persamaan (14) ke persamaan (13) menghasilkan

$$\begin{aligned} v_{LM35DZ} &= v_0 + x_1(T_0 + x_2 \cdot t) \\ &= v_0 + x_1 \cdot T_0 + x_1 x_2 \cdot t \end{aligned} \quad (15)$$

sehingga secara eksperimen tegangan LM 35DZ merupakan fungsi waktu.

2. Tegangan Referensi (*Set Point*)

Pembagi tegangan merupakan rangkaian *attenuator* yang berfungsi untuk memperkecil tegangan atau sinyal. Pembagi tegangan sering dijumpai pada masukan alat-alat ukur untuk mencegah terjadinya kelebihan arus yang mengalir pada μ -ampere. Dalam elektronika, pembagi tegangan (juga dikenal sebagai pembagi potensial) adalah sebuah rangkaian elektronika linear yang akan menghasilkan tegangan *output* (V_{out}) yang merupakan sebagian kecil dari tegangan masukan (V_i). Pembagi tegangan biasanya menggunakan dua resistor atau dibuat dengan satu potensiometer. Tegangan *output* tergantung dari nilai-nilai komponen resistor atau dari pengaturan potensiometer. Rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Rangkaian pembagi tegangan

Keterangan Gambar 11 :

R_1 = Resistor pertama

R_2 = Resistor kedua

V_i = Tegangan sumber

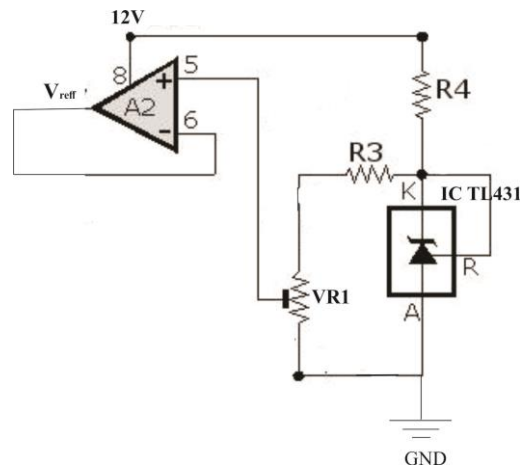
V_{out} = Tegangan keluaran

Dari rangkaian tersebut dapat dibuktikan bahwa

$$V_{out} = V_i \times \frac{R_2}{R_2 + R_1} \quad (16)$$

Berdasarkan persamaan (16), apabila nilai V_i tetap, maka perubahan nilai V_{out} hanya tergantung pada perubahan nilai R_1 dan R_2 .

Untuk membuat sebuah rangkaian saklar suhu yang akurat menggunakan LM 35 dibutuhkan tegangan referensi yang presisi. Tegangan referensi yang presisi tersebut bisa diperoleh dari IC TL431 yang berfungsi sebagai regulator dengan *output* +2,5 V (sesuai dengan *datasheet* + 2,5 V *precision voltage reference*). Rancangan pembagi tegangan yang presisi dapat dilihat pada Gambar 12. Digunakan IC TL 431 ini agar nantinya tegangan maksimal outputnya tidak melebihi 2,5 V, sehingga tidak terlalu jauh dibandingkan dengan tegangan *output* dari IC LM 35DZ (Texas Instrument Data Sheet, 2015: 1)



Gambar 12. Rangkaian pembagi tegangan

Berdasarkan Gambar 12 diperoleh persamaan pembagi tegangan

$$v_{out/ref} = v_{in} \times \frac{R_{trimpot}}{R_{trimpot} + R_3} \quad (17)$$

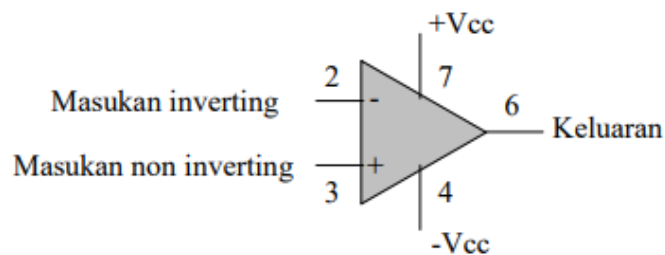
dimana v_{in} merupakan tegangan *output* (pin 1) dari IC TL 431 yaitu 2,5 V. Agar diperoleh tegangan *output* dari rangkaian pembagi yang stabil, maka $v_{out/ref}$ masuk ke rangkaian *buffer* A2 yang merupakan Op - Amp dari IC LM 358.

3. Rangkaian Penguat

Surjono dan Hermawan Dwi (2009: 53) menyatakan bahwa penguat operasi atau disebut Op – Amp (*Operational Amplifier*) adalah

suatu penguat beda (penguat diferensial) yang mempunyai penguatan sangat tinggi dengan impedansi masukan tinggi dan impedansi keluaran rendah. Op – Amp merupakan rangkaian terintegrasi yang dikemas dalam bentuk chip, sehingga sangat praktis penggunaannya. Penggunaan Op-Amp sangat luas, termasuk diantaranya sebagai osilator, filter dan rangkaian instrumentasi lainnya.

Sumarna (2017: 30) menyatakan Op-Amp pada umumnya dilukiskan seperti tampak pada Gambar 13 berikut. Tampak adanya dua masukan yaitu masukan *inverting* (-) dan masukan *non inverting* (+). Bila isyarat masukan dikenakan pada masukan *inverting*, maka pada daerah frekuensi tengah isyarat keluaran akan berlawanan fase dengan isyarat masukan. Sebaliknya, jika isyarat masukan dikenakan pada masukan *non inverting*, maka isyarat keluaran akan sefase dengan isyarat masukan.



Gambar 13. Lambang Op-Amp (*operational amplifier*)

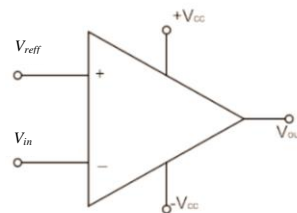
Gambar 13 menunjukkan lambang dari penguat operasional dimana simbol yang berbentuk segitiga berfungsi sebagai penguatan tegangan (*voltage gain*). Persamaan tegangan masukan diferensialnya adalah:

$$V_{in} = V_1 - V_2 \quad (18)$$

Tegangan masukan diferensial ada karena perbedaan tegangan antara *inverting* dan *non inverting*. Selama penguat operasional bekerja pada daerah linier, maka tegangan *output* dinyatakan dalam persamaan berikut :

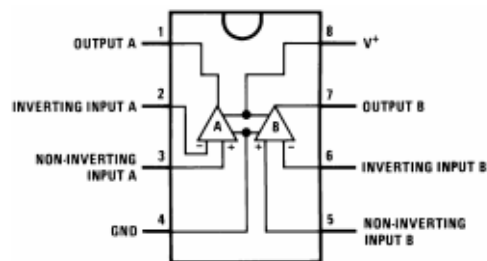
$$V_{out} = A V_{in} \quad (19)$$

Rangkaian komparator merupakan aplikasi penguat operasional *loop* terbuka (tidak ada resistor umpan balik). Keluaran berupa $+V_{cc}/-V_{cc}$ atau *High/Low*. Prinsip dasar rangkaian komparator yaitu membandingkan nilai masukan pada inverting dan non-inverting. Jika kaki non-inverting adalah V_{ref} , maka nilai keluaran (V_{out}) tergantung pada masukan kaki inverting (V_{in}). Sehingga hasil tegangan *output* (V_{out}) tergantung dari V_{in} , seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Op – Amp sebagai komparator

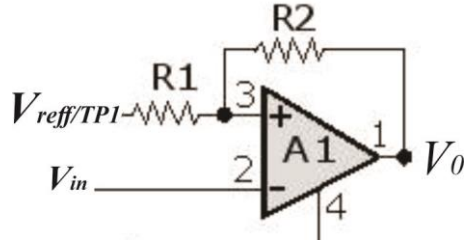
$$\begin{aligned} V_{out} &= (+V_{CC})\text{volt, jika } V_{in} > V_{ref} \\ V_{out} &= (-V_{CC})\text{volt, jika } V_{in} < V_{ref} \end{aligned} \quad (20)$$



Gambar 15. Konfigurasi pin LM 358 (Texas Instrument, 2016: 3)

Pada penelitian ini digunakan chip IC LM 358 yang digunakan sebagai rangkaian Op-Amp. IC LM 358 mempunyai 2 rangkaian penguat seperti pada Gambar 15. Penguat ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan tipe penguat standar lain dalam mode *single supply*. Keuntungan tersebut diantaranya adalah:

- Dapat beroperasi pada tegangan 3 V sampai 32 V
- Mode masukan daya termasuk *negative supply* dengan demikian menghilangkan bias eksternal dari komponen pada banyak aplikasi
- Cakupan tegangan keluaran juga meliputi voltase negatif



Gambar 16. Rangkaian Penguat

Rangkaian penguat akan memperbesar selisih dari dua tegangan masukan yang dikalikan dengan konstanta tertentu yang ditentukan oleh nilai ratio resistansi sebesar $\frac{R_1}{R_2}$ seperti pada persamaan (21). Berdasarkan Gambar 16, Clayton George & Winder Steve (2005: 7-8) menyatakan bahwa

$$v_0 = \frac{R_2}{R_1} (v_+ - v_-) \quad (21)$$

Tegangan pada terminal masukan pembalik (*inverting*) adalah :

$$v_- = v_{LM\ 35DZ/in} \quad (22)$$

Tegangan pada terminal masukan non pembalik / *non inverting* (dengan menggunakan prinsip superposisi) dapat dirumuskan oleh persamaan berikut:

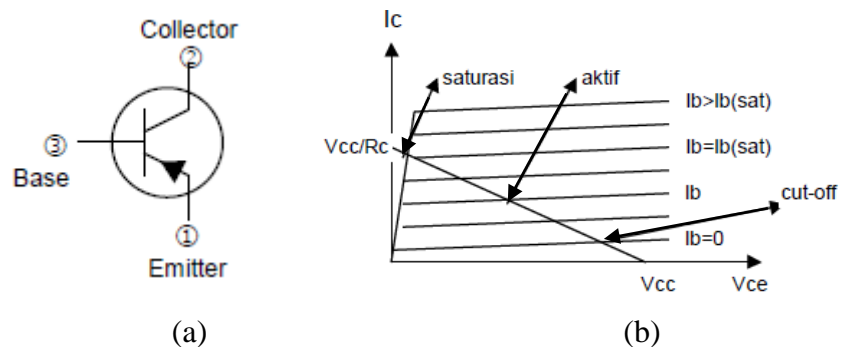
$$v_+ = v_{ref} \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) + v_0 \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (23)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (22) dan persamaan (23) ke persamaan (21), diperoleh

$$v_0 = \frac{\frac{R_2}{R_1} \left(v_{ref} \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) - v_{LM\ 35DZ/in} \right)}{\left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)} \quad (24)$$

4. Transistor

Mushsin (2004: 1-3) menyatakan bahwa memanfaatkan transistor sebagai saklar berarti kita mengoperasikan transistor pada titik sumbat (*cut off*) untuk saklar terbuka (*open switch*) dan pada titik jenuh (*saturation*) untuk saklar tertutup (*close switch*), tetapi tidak pada daerah aktif.



Gambar 17. (a) Skema transistor (*Secos Elektronische Bauelemente* A1015, 2011: 1); (b) Kurva karakteristik dan daerah kerja transistor (Setiawan dan Candra Aan, 2007: 12)

Berdasarkan Gambar 17 dapat diketahui operasi transistor pada keadaan tertutup atau pada keadaan terbuka. Untuk mengoperasikan transistor pada keadaan tertutup, maka arus basis (I_B) harus sama dengan arus basis saturasi ($I_{B(sat)}$). Untuk menentukan arus basis dipakai persamaan:

$$I_B(t) = \frac{v_{in/BB} - v_{BE}}{R_B} \quad (25)$$

Jika arus basis (I_B) lebih besar dari arus basis saturasi ($I_{B(sat)}$), maka transistor tetap pada titik jenuh karena arus kolektor tidak dapat bertambah. Untuk mengoperasikan transistor pada keadaan terbuka maka arus basis paling kecil harus sama dengan nol,

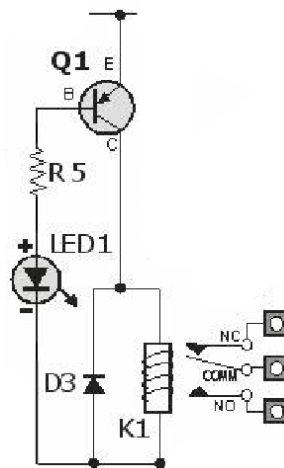
$$I_B = 0 \quad (26)$$

Persamaan (25) adalah persamaan untuk menentukan kerja transistor dalam kondisi tertutup dan persamaan (26) adalah

persamaan untuk menentukan kerja transistor untuk kondisi terbuka. Kondisi tertutup, yaitu antara kolektor dan emitor terjadi hubungan singkat, sedangkan kondisi terbuka yaitu antara kolektor dan emitor tidak terjadi hubung singkat. Untuk merancang suatu saklar transistor kita perlu memperhatikan aturan perancangan, yaitu kejenuhan lunak (*soft saturation*) dan kejenuhan keras (*hard saturation*).

Kejenuhan lunak adalah mengoperasikan transistor pada titik hampir jenuh. Kondisi ini berarti arus basis hanya cukup untuk mengoperasikan transistor pada titik atas dari garis beban DC. Dalam mengoperasikan transistor sebagai saklar, kejenuhan lunak tidak dianjurkan. Kejenuhan keras adalah mengoperasikan transistor pada titik jenuh dimana arus basis cukup untuk mengoperasikan transistor pada titik jenuh dari semua harga β_{dc} . Harga β_{dc} adalah:

$$\beta_{dc} = \frac{I_c}{I_B} \quad (27)$$



Gambar 18. Transistor sebagai saklar ON

Gambar 18 menunjukkan bahwa untuk membuat transistor menghantarkan arus, pada masukan basis harus diberikan tegangan. Besarnya tegangan harus lebih besar dari v_{BE} (0,3 volt untuk

germanium dan 0,77 volt untuk silicon). Selain itu untuk membuat transistor bersaturasi, maka dibutuhkan arus basis (I_B) yang akan mengendalikan arus kolektor yang nantinya akan mengendalikan *relay*. Besarnya arus basis diperoleh dari persamaan (25).

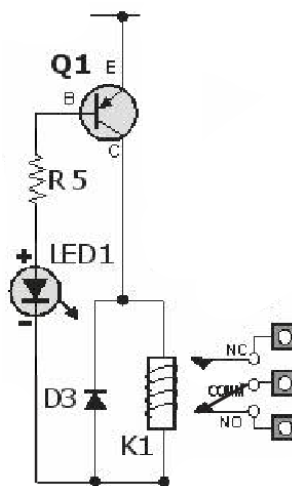
Berdasarkan Gambar 18 arus juga mengalir dari emitor ke kolektor tanpa hambatan dan $V_{CE} \approx 0$. Besar arus yang mengalir dari emitor ke kolektor diperoleh dari persamaan berikut :

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (28)$$

Karena $V_{CE} \approx 0$, maka

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (29)$$

Berdasarkan persamaan (25) dan persamaan (29) diperoleh nilai gain arus seperti persamaan (27), yang menyatakan bahwa arus basis yang kecil akan menghasilkan arus kolektor yang jauh lebih besar sehingga dapat mengendalikan *relay*.



Gambar 19. Transistor sebagai saklar *cut off* (OFF)

Gambar 19 menunjukkan daerah *cut off* karena pada daerah ini transistor tidak dapat mengalirkan arus dari emitor menuju kolektor. Pada daerah *cut off* transistor dapat dianalogikan sebagai saklar terbuka pada hubungan emitor-kolektor.

Dengan mengatur $I_B = 0$ sesuai persamaan (26) maka transistor akan dalam kondisi *cut off (OFF)*, sehingga tidak ada arus yang mengalir dari emitor menuju kolektor $I_C = 0$. Berdasarkan persamaan (28) besarnya tegangan antara kolektor dan emitor pada kondisi ini adalah $V_{CE} = V_{CC}$ (Malvino, 1985:128)

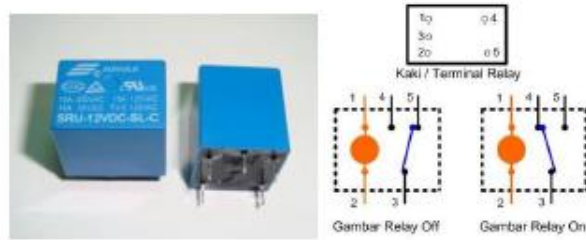
Transistor yang digunakan adalah transistor tipe A1015. Transistor ini bertipe PNP yang berfungsi sebagai penggerak *relay*.

5. Relay

Relay adalah saklar elektronik yang dapat membuka atau menutup rangkaian dengan menggunakan kontrol dari rangkaian elektronik lain. Sebuah *relay* tersusun atas kumparan, pegas, saklar (terhubung pada pegas) dan 2 kontak elektronik (*normally close* dan *normally open*).

- a. *Normally close (NC)* : saklar terhubung dengan kontak ini saat *relay* tidak aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi terbuka.
- b. *Normally open (NO)* : saklar terhubung dengan kontak ini saat *relay* aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi tertutup.

Berdasarkan prinsip dasar cara kerjanya, *relay* dapat bekerja karena adanya medan magnet yang digunakan untuk menggerakkan saklar. Saat kumparan diberikan tegangan sebesar tegangan kerja *relay*, maka akan timbul medan magnet pada kumparan karena adanya arus yang mengalir pada lilitan kawat. Kumparan yang bersifat sebagai elektromagnet ini kemudian akan menarik saklar dari kontak *NC* ke kontak *NO*. Jika tegangan pada kumparan dimatikan, maka medan magnet pada kumparan akan hilang sehingga pegas akan menarik saklar ke kontak *NC*. Terminal/kaki pada *relay* dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Terminal/ kaki pada *relay*
(<http://sulihan.blogspot.co.id/2012/05/saklar-sentuh.html>)

F. Keramik

Kata keramik berasal dari bahasa Yunani, yaitu “*keramikos*” yang berarti “bahan yang terbakar”, yang menggambarkan bahwa sifat yang diinginkan dari material ini dapat diperoleh dengan pembakaran. Hingga 50 tahun yang lalu, material penting dalam kategori keramik adalah keramik tradisional, yang terbuat dari tanah liat. Saat ini, pemahaman mengenai struktur keramik telah berkembang sehingga material keramik memasuki dimensi baru sebagai material elektronik, komputer, komunikasi angkasa luar dan lain – lain. Bentuk keramik biasanya tidak dapat diubah dan sangat stabil dalam lingkungan yang cukup ekstrem (Sofyan, 2010: 133). Selain itu menurut Hartono (1994: 1) bahan keramik bersifat keras, ringan, tegar, tahan api dan korosi. Namun keramik memiliki kekurangan yaitu sifatnya yang getas (mudah pecah).

Ismunandar (Kimia ITB) menyatakan bahwa keramik memiliki karakteristik kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah. Sifat termal penting bahan keramik adalah kapasitas panas dan konduktivitas termal. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Panas yang diserap disimpan oleh padatan antara lain dalam bentuk vibrasi (getaran) atom/ion penyusun padatan tersebut (<http://www.kimianet.lipi.go.id>).

Selain itu keramik dikenal sebagai isolator yang baik, sehingga keramik bagus untuk dijadikan bahan dasar penetas telur.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Januari 2016, dan bertempat di kost yang beralamat Jln. Bimokurdo No.7, Sapean, Demangan, Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, sedangkan proses penetasan telur itik muscovy dilakukan mulai bulan April 2017 di rumah yang beralamat Cipawon RT 02/ RW 01, Kecamatan Bukateja, Kabupaten Purbalingga.

B. Alat dan Bahan

1. Ruang inkubator penetas telur
2. Komponen kontrol suhu
 - a. Resistor (10 k Ω , 4,7 M Ω , 1,2 k Ω , 1 k Ω , 33 Ω , dan 1 k Ω) $\frac{1}{2}$ W atau $\frac{1}{4}$ W
 - b. Sensor Suhu LM 35 DZ
 - c. IC regulator TL 431
 - d. IC LM358
 - e. LED
 - f. Trimpot 5 k Ω
 - g. Transistor A1015
 - h. Dioda IN4148 (2 buah)
 - i. Dioda IN4002 (2 buah)
 - j. Dioda Zener 13 V, 400 mW
 - k. Kapasitor 470 μ F/16 V
 - l. Kapasitor Keramik 0,1 μ F atau 104
 - m. Kawat Nikelin (6 m)
 - n. Termometer
 - o. Multimeter Digital

- p. Kabel
- q. *Relay* 12 V
- r. Adaptor 12 V
- s. PCB
- t. Solder
- u. Tinol
- v. Thermistor NTC 10k
- w. Kabel Penghubung

C. Pengambilan Data

Proses pengambilan data melalui dua tahap yaitu tahap perancangan alat dan pengujian alat hingga alat dapat difungsikan.

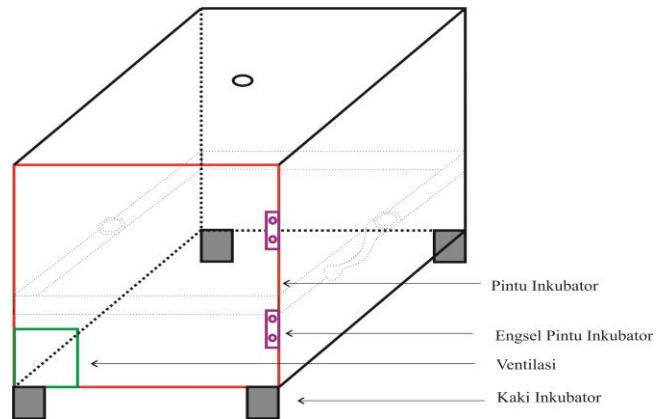
1. Tahap Rancang Bangun Alat

Tahap rancang bangun alat merupakan proses yang dilakukan untuk mendesain bentuk ruang penetas telur (inkubator) dan merancang rangkaian pengontrol suhu. Perancangan alat dimulai di kos peneliti yang beralamat Jln. Bimokurdo No.7, Sopen, Demangan, Gondokusuman, Yogyakarta dan Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi FMIPA UNY. Pemesanan inkubator dilakukan di sentra pembuatan keramik Kasongan, Bantul, Yogyakarta. Tahap rancang bangun alat selanjutnya terdiri dari tiga bagian sebagai berikut:

a. Perancangan inkubator penetasan telur

1) Konstruksi inkubator telur itik muscovy

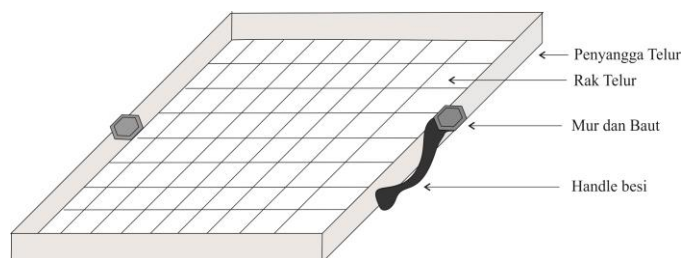
Inkubator adalah sebuah balok yang mempunyai ruang dimana akan dikontrol suhunya. Sesuai dengan perencanaan, ukuran ruang adalah 30 cm x 30 cm x 30 cm yang dibuat menggunakan bahan dasar keramik. Elemen pemanas dalam inkubator menggunakan lilitan kawat Nikelin. Rancang bangun inkubator dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Inkubator Telur Itik muscovy

2) Konstruksi pengaduk telur itik muscovy

Pengaduk telur berfungsi untuk membolak – balik telur dimulai dari hari ke 3 sampai hari ke 27. Pembalikan telur minimal dilakukan 3 kali dalam sehari semalam (jika memungkinkan dilakukan pada rentang waktu setiap 8 jam). Rak telur dihubungkan dengan handle besi menggunakan mur dan baut. Pengaduk telur dirancang dengan kemiringan sudut sebesar 45° .



Gambar 22. Pengaduk telur

3) Konstruksi Bak Air

Bak air ditempatkan di dalam inkubator di bawah rak telur. Peningkatan suhu dapat menguapkan air yang ada di dalam bak sehingga tercipta kelembaban. Kelembaban udara berfungsi untuk menjaga cairan dalam telur dan merapuhkan kerabang telur. Ukuran bak air yang digunakan yaitu 20 cm x 17 cm x 4 cm.



Gambar 23. Konstruksi Bak Air

4) Konstruksi pemanas inkubator telur itik muscovy.

Sumber panas menggunakan lilitan kawat Nikelin. Kawat Nikelin yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

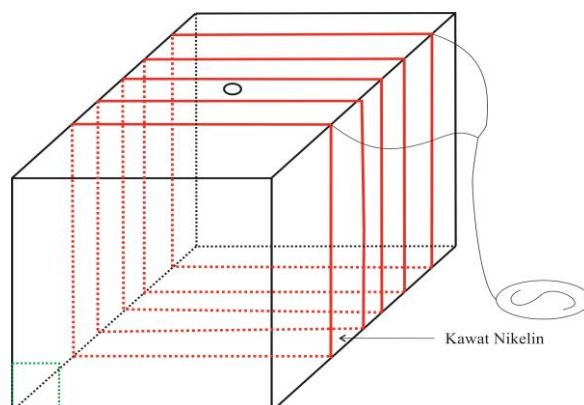
Merek : *Fuji Resistance Wire (Made in Japan)*

Diameter : 0,15 mm

NW : 0,71 kg

R : 71 Ω /m

Setelah dilakukan pengukuran, hambatan kawat Nikelin adalah 71 Ω /m. Pemanas inkubator menggunakan lilitan kawat Nikelin sepanjang 6 m, sehingga besar hambatan total adalah 426 Ω . Besar hambatan total akan mempengaruhi besar daya yang digunakan dalam proses pemanasan inkubator. Dari hasil perhitungan, besar daya adalah 113,61 watt, dengan sumber tegangan PLN 220 V. Kawat Nikelin dililit di permukaan luar inkubator dengan jarak sekitar 2,5 cm. Hal ini bertujuan agar kawat Nikelin menghasilkan panas yang merata dalam ruang penetasan sehingga masing – masing telur yang diletakkan dalam rak menerima panas yang sama.



Gambar 24. Peletakan lilitan kawat Nikelin

b. Perancangan Sistem Kontrol Suhu

Sistem kontrol suhu penetas telur itik muscovy dirancang secara *closed loop* dengan adanya saklar *ON-OFF*. Berikut tahapan perancangan sistem pengontrol suhu:

1) Perancangan rangkaian pembagi tegangan (V_{ref})

Untuk memberikan tegangan referensi yang presisi digunakan IC TL431 yang berfungsi sebagai regulator (dengan *output 2,5 V precision voltage reference* sesuai dengan *datasheet*). Trimpot (VR1) yang mempunyai nilai resistansi 5 k Ω diatur sehingga mendapatkan nilai 220 Ω dan nilai R3 adalah 1,2 k Ω . Trimpot dan R3 akan membentuk rangkaian pembagi tegangan dan akan berpengaruh terhadap nilai tegangan referensi (V_{ref}). Sedangkan R4 yang bernilai 1 k Ω bertujuan untuk menghalangi jalannya arus yang melalui IC TL431 dari sumber tegangan. Hasil dari tegangan referensi dan pembagi tegangan akan masuk kerangkaian *buffer* agar diperoleh V_{ref} yang tetap stabil meski terjadi perubahan suhu dalam ruang penetasan.

2) Perancangan rangkaian sensor suhu sebagai tegangan *input* (V_{in})

Rangkaian sensor suhu menggunakan sensor LM 35DZ yang telah dikalibrasi dalam satuan $^{\circ}\text{C}$. Tegangan *output* dari sensor suhu (V_{out}) mengalami perubahan 10 mV setiap 1 $^{\circ}\text{C}$. Tegangan *output* (V_{out}) dari LM 35DZ digunakan oleh penguat selisih sebagai tegangan *input* (V_{in}).

3) Perancangan rangkaian penguat (Op-Amp)

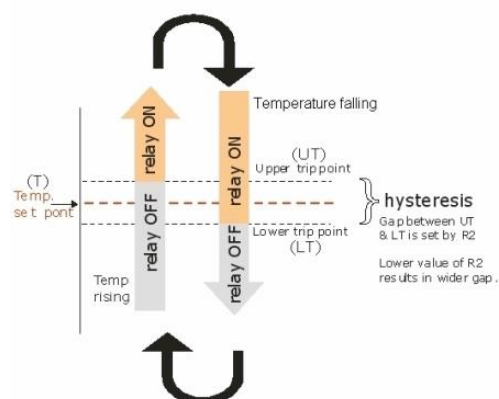
Dalam hal ini rangkaian penguat selisih akan membandingkan nilai masukan dari tegangan *input* (V_{in}) yang dihasilkan LM 35DZ dengan tegangan referensi (V_{ref}). Komponen yang berkerja sebagai penguat (Op-Amp) adalah IC LM 358 yang dirancang agar hasil keluaran tegangan mampu menggerakkan transistor sebagai saklar.

4) Perancangan rangkaian saklar transistor PNP

Transistor akan memproses sinyal keluaran dari komparator agar transistor mencapai titik saturasi. Transistor berfungsi untuk mengalirkan dan menghentikan arus. Yang mengendalikan arus yaitu kaki basis sehingga transistor dalam hal ini disebut sebagai saklar. Apabila basis mendapat tegangan yang sesuai, maka basis akan aktif dan arus mengalir dari kaki emitor ke kolektor dan saat transistor mencapai titik saturasi maka saklar pada *relay* akan bergerak. Apabila kaki basis tidak mendapat tegangan yang sesuai, maka basis tidak dapat mengalirkan arus dari kaki emitor menuju kolektor sehingga transistor tidak mampu menggerakkan *relay*.

5) Perancangan rangkaian *driver relay*

Rangkaian *driver relay* terdiri dari satu buah transistor yang difungsikan sebagai saklar (*switch*) yang bekerja untuk menggerakkan saklar *relay*. Jika *relay* aktif, maka jarum pada *relay* akan bergerak, kemudian tuas kontak akan tertarik dan tertutup, sehingga arus terputus dan mengalir ke beban berupa kawat Nikelin. Diharapkan *relay* dalam keadaan *ON/OFF* sesuai dengan suhu yang telah diatur melalui tegangan referensi V_{ref} .



Gambar 25. Kondisi relay sesuai set point suhu
(<http://www.escol.com.my>)

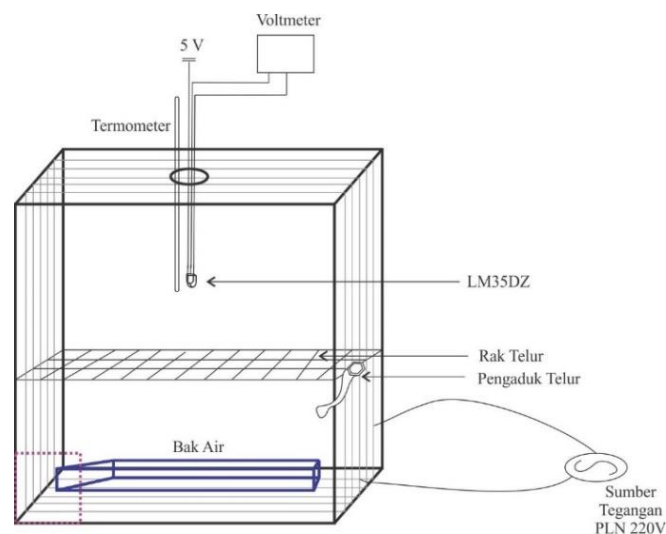
2. Tahap Pengujian Alat

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat ini mampu difungsikan untuk keperluan pengambilan data dan dapat bekerja dengan optimal dalam menetaskan telur itik muscovy. Tahap pengujian alat dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

a. Pengujian Sensor LM 35DZ

Pengujian sensitivitas sensor suhu LM 35DZ atau yang lebih dikenal dengan nama karakterisasi sensor dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor suhu LM 35DZ dalam merespon perubahan suhu. Langkah – langkah dalam uji sensitivitas sensor adalah:

1. Menyusun rangkaian penguji sensor suhu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.
2. Memasukkan sensor LM 35DZ ke dalam ruang inkubator telur itik muscovy yang telah dipasang pemanas kawat Nikelin sebelumnya.
3. Menaikkan suhu udara dalam ruang inkubator dengan cara menyalakan pemanas.
4. Mengkalibrasi nilai tegangan *output* sensor suhu LM 35DZ yang ditampilkan oleh voltmeter.
5. Mencatat hasil pengujian ke dalam tabel.

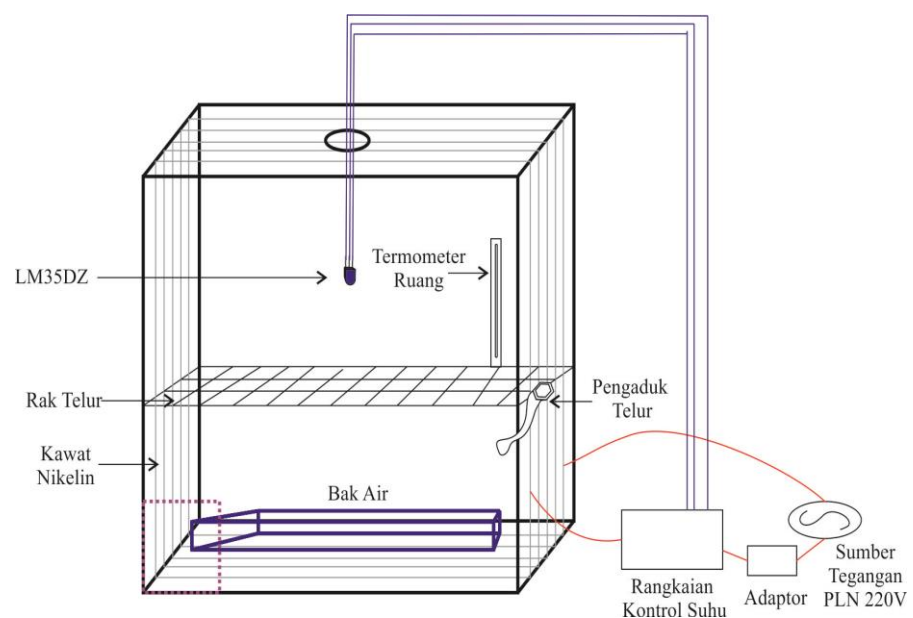


Gambar 26. Rangkaian pengujian sensitivitas sensor LM 35DZ

b. Menguji rangkaian sistem kontrol suhu

Untuk mengetahui sistem yang dibuat mampu bekerja sesuai dengan keinginan atau tidak, maka perlu dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Pada pengujian ini dilakukan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian sistem kontrol suhu seperti pada Gambar 26.
2. Pemanas dihidupkan, kemudian dibiarkan selama 3 jam agar distribusi panas dapat merata di dalam ruang inkubator.
3. Setelah rangkaian kontrol suhu telah bekerja dengan optimal kemudian dilakukan pengujian distribusi suhu pada beberapa titik penempatan telur itik muscovy di dalam inkubator dengan menggunakan sensor LM 35DZ, dan menganalisis rangkaian sistem kontrol suhu.
4. Mencatat hasil pada tabel.



Gambar 27. Pengujian rangkaian kontrol suhu

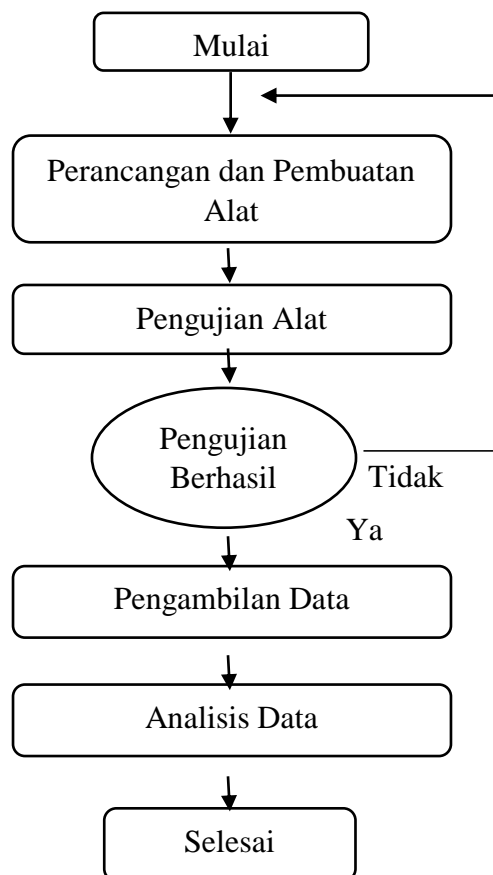
D. Metode Analisis Data

Langkah – langkah analisis data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengalibrasi rangkaian sistem kontrol suhu, kemudian membandingkan suhu yang terukur pada thermometer dengan suhu berdasarkan pembacaan tegangan *output* pada voltmeter
2. Menganalisis data hasil pengukuran kestabilan suhu inkubator dan melakukan perhitungan matematis energi listrik yang digunakan dalam penetasan telur itik muscovy

E. Diagram Tahapan Penelitian

Tahap penelitian ini dapat digambarkan sesuai dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 29. Diagram tahap penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Rancang Bangun Alat

Alat penetas telur itik muscovy dirancang menggunakan komponen rangkaian berdasarkan karakter komponen yang dirangkai untuk menunjang rangkaian sistem kontrol suhu dengan rentang suhu (37,5– 38,5) °C.

Berikut adalah analisis setiap blok sistem kontrol.

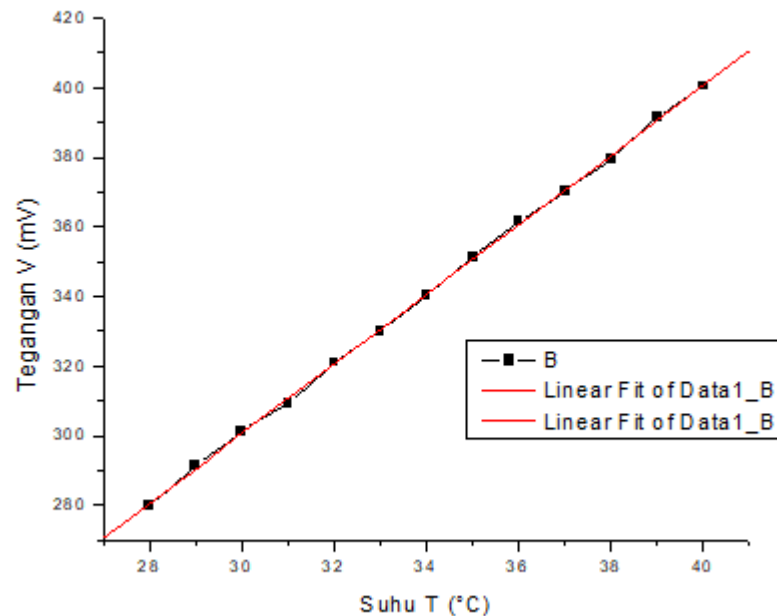
a. Blok Sensor Suhu LM35 DZ

Sensor suhu LM 35DZ berfungsi mengubah suhu menjadi tegangan, sehingga dapat dikatakan bahwa suhu merupakan variabel *input* yang diukur oleh LM 35DZ dan tegangan merupakan *output* dari sensor suhu LM 35DZ. Karena rentang suhu untuk penetasan telur (37,5–38,5) °C, maka karakterisasi hanya dilakukan di rentang suhu yang mendekati *set point* penetas telur tersebut. Berikut adalah hasil karakterisasi sensor suhu LM 35DZ.

Tabel 2. Hasil karakterisasi LM 35 DZ (suhu terhadap tegangan).

No	Suhu (°C)	Tegangan (mV)
1	28	280,2
2	29	291,5
3	30	301,3
4	31	309,4
5	32	321,1
6	33	330,2
7	34	340,3
8	35	351,4
9	36	361,5
10	37	370,2
11	38	379,5
12	39	391,4
13	40	400,5

1



Linear Regression for Data1_B:
 $Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error	
A	0.93407	1.99642	
B	9.99176	0.05837	
R	SD	N	P
0.99981	0.7874	13	<0.0001

Gambar 30. Grafik dan hasil dari analisis linieritas tegangan terhadap suhu

Gambar 29 menunjukkan bahwa titik-titik pengukuran data tegangan sensor bertambah seiring dengan kenaikan suhu. Kecenderungan hasil pengukuran berbentuk garis lurus dengan kemiringan positif. Dapat diketahui bahwa kenaikan tegangan V_{LM35DZ} linear terhadap perubahan suhu (T).

Fitting grafik menghasilkan persamaan $Y = A + B * X$ dimana Y = tegangan, X = suhu dan A adalah titik potong dengan nilai $A = (0,93 \pm 2,00)$ mV . Hal ini menyatakan jika suhu 0°C maka sensor LM 35DZ

mengeluarkan *output* tegangan sebesar 0,93 mV dengan ketidakpastian 2,00 mV . Sedangkan B adalah gradien atau sensitivitas sensor dengan nilai $B = (9,99 \pm 0,06) \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan 1°C terjadi kenaikan tegangan 9,99 mV dengan ketidakpastian 0,06 mV.

Input sensor suhu LM 35DZ berupa perubahan suhu terhadap waktu. Dari persamaan (14) dapat diperoleh transformasi Laplace untuk suhu adalah :

$$\begin{aligned}\mathcal{L}[T(t)] &= \mathcal{L}[T_0 + x_2 \cdot t] \\ T(s) &= \frac{T_0}{s} + \frac{x_2}{s^2}\end{aligned}\quad (30)$$

x_2 adalah nilai gradien dan T_0 adalah suhu awal. Tegangan keluaran LM 35DZ (v_{LM35DZ}) berfungsi sebagai tegangan *input* (v_{in}) pada komparator IC LM 358 yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil dari tegangan referensi dari rangkaian pembagi tegangan untuk mengendalikan aktuator, sehingga $v_{\text{LM35DZ}} = v_{in}$.

Dengan mensubstitusikan persamaan (14) ke persamaan (13) menghasilkan persamaan:

$$\begin{aligned}v_{in}(t) &= v_0 + x_1(T_0 + x_2 \cdot t) \\ v_{in}(t) &= v_0 + x_1 \cdot T_0 + x_1 x_2 \cdot t\end{aligned}\quad (31)$$

Transformasi Laplace persamaan (31) :

$$\begin{aligned}\mathcal{L}[v_{in}(t)] &= \mathcal{L}[v_0 + x_1 \cdot T_0 + x_1 x_2 \cdot t] \\ v_{in}(s) &= \frac{v_0 + x_1 \cdot T_0}{s} + \frac{x_1 x_2}{s^2}\end{aligned}\quad (32)$$

Fungsi transfer dari sensor suhu LM 35DZ diperoleh dengan cara membandingkan transformasi Laplace tegangan sebagai *output* dengan transformasi Laplace suhu sebagai *input* dengan hasil sebagai berikut:

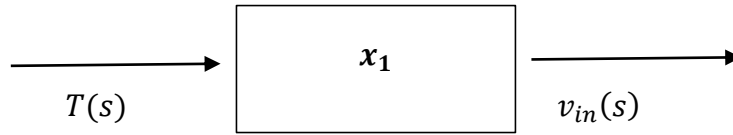
$$G1(s) = \frac{v_{in}(s)}{T(s)} = \frac{\frac{v_0 + x_1 T_0}{s} + \frac{x_1 x_2}{s^2}}{\frac{T_0}{s} + \frac{x_2}{s^2}}\quad (33)$$

Karena v_0 dan T_0 sama dengan nol, maka :

$$\begin{aligned}
 G1(s) &= \frac{v_{in}(s)}{T(s)} = \frac{\frac{x_1 x_2}{s^2}}{\frac{x_2}{s^2}} \\
 G1(s) &= \frac{v_{in}(s)}{T(s)} = \frac{x_1 x_2}{s^2} \times \frac{s^2}{x_2} \\
 \mathbf{G1(s)} &= \frac{v_{in}(s)}{T(s)} = \mathbf{x_1}
 \end{aligned} \tag{34}$$

x_1 adalah nilai sensitivitas sensor suhu LM 35 DZ yaitu $9,99 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

Diagram blok sensor suhu LM 35DZ adalah seperti pada Gambar 30.



Gambar 31. Diagram blok sensor suhu LM 35DZ

b. Blok rangkaian pembagi tegangan

Berdasarkan Gambar 12 diketahui bahwa tegangan *input* referensi IC TL431 (v_{ir}) adalah 2,5 V. Besar $R_{trimpot}$ yang digunakan sebesar 5 k Ω dan diputar pada nilai 220 Ω , nilai R_3 1,2 k Ω dan R_4 1 k Ω . Sesuai rangkaian pembagi tegangan dan dengan menggunakan persamaan (17), maka nilai tegangan referensi adalah :

$$\begin{aligned}
 v_{TP1/ref} &= v_{ir} \times \frac{R_{trimpot}}{R_{trimpot} + R_3} \\
 &= 2,5 \text{ V} \times \frac{220 \Omega}{220 \Omega + 1200 \Omega} \\
 &= 2,5 \text{ V} \times \frac{220 \Omega}{1420 \Omega} \\
 v_{TP1/ref} &= 0,387 \text{ V}
 \end{aligned} \tag{35}$$

v_{ir} adalah tegangan *input* referensi atau tegangan sumber dari IC TL431 yaitu sebesar 2,5 V

Tegangan referensi difungsikan sebagai tegangan pembatas yang hasilnya akan dibandingkan dengan tegangan masukan dari LM 35DZ di

dalam komponen IC LM 358. Tegangan *output* ($v_{TP1/ref}$) yang didapat dari rangkaian pembagi tegangan akan masuk ke rangkaian *buffer* agar diperoleh hasil yang lebih stabil meskipun terjadi perubahan suhu. Berikut adalah transformasi Laplace dari persamaan (35):

$$\mathcal{L}[v_{TP1/ref}(t)] = \mathcal{L}\left[v_{ir} \times \frac{R_{trimpot}}{R_{trimpot} + R_3}\right] \quad (36)$$

Fungsi transfer untuk rangkaian pembagi tegangan dengan menganggap syarat awal sama dengan nol, adalah:

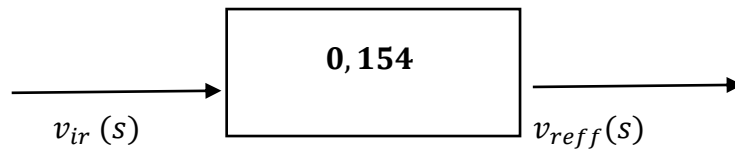
$$v_{TP1/ref}(t) = \begin{cases} 0,387 \text{ V}, & v_{ir}(t) = 2,5 \text{ V} \\ 0 \text{ V}, & v_{ir}(t) = 0 \text{ V} \end{cases} \quad (37)$$

$$\mathcal{L}[v_{TP1/ref}(t)] = \mathcal{L}[0,387] \quad (38)$$

$$v_{ref}(s) = \frac{0,387}{s} \quad (39)$$

$$G_2(s) = \frac{v_{ref}(s)}{v_{ir}(s)} = \frac{0,387}{s \cdot 2,5/s} = \frac{0,387}{2,5} = \mathbf{0,154} \quad (40)$$

Jadi, dapat digambarkan diagram blok rangkaian pembagi tegangan sebagai berikut:



Gambar 32. Diagram blok rangkaian pembagi tegangan

c. Blok rangkaian penguat selisih

Tegangan *output* pada rangkaian penguat selisih yang berfungsi untuk menggerakkan saklar transistor, yang diperoleh menggunakan persamaan (21) adalah:

$$v_0 = \frac{R_2}{R_1} (v_+ - v_-)$$

$$v_- = v_{LM35DZ/in}$$

$$\mathcal{L}[v_0(t)] = \mathcal{L}\left[\frac{R_2}{R_1} (v_+(t) - v_{in}(t))\right] \quad (41)$$

$$v_0(s) = \frac{R_2}{R_1} (v_+(s) - v_{in}(s)) \quad (42)$$

Berdasarkan transformasi Laplace di atas fungsi transfer menunjukkan operasi penjumlahan antara v_+ dan v_{in} , dimana nilai $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4,7 \text{ M}\Omega$. Maka, fungsi transfer penguat selisih dengan menganggap keadaan awal sama dengan nol, adalah:

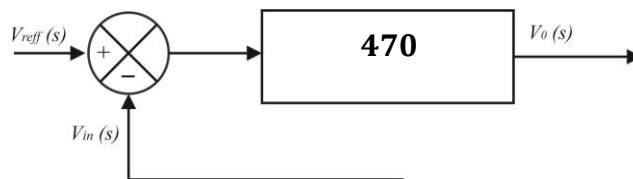
$$G_3(s) = \frac{v_0(s)}{v_+(s) - v_{in}(s)}$$

$$G_3(s) = \frac{\frac{R_2}{R_1} (v_+(s) - v_{in}(s))}{v_+(s) - v_{in}(s)}$$

$$G_3(s) = \frac{R_2}{R_1} = \frac{4,7 \times 10^6}{10 \times 10^3}$$

$$\mathbf{G_3(s) = 470} \quad (43)$$

sehingga diagram blok rangkaian penguat selisih seperti ditunjukkan pada Gambar 32.



Gambar 33. Diagram blok rangkaian penguat selisih

d. Blok rangkaian saklar transistor

Sesuai dengan Gambar 18, untuk membuat transistor bekerja (menghantarkan arus listrik), maka basis harus mendapat tegangan yaitu tegangan keluaran penguat selisih $v_0 = v_{BE}$. Transistor mampu bekerja saat keadaan saturasi yaitu v_{BE} bernilai lebih besar dari 0,77 V (silicon).

Untuk membuat transistor bersaturasi, maka diperlukan arus basis i_B yang ditentukan dengan persamaan (25), sebagai berikut :

$$i_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$\mathcal{L}[i_B(t)] = \mathcal{L}\left[\frac{V_{BB}(t) - V_{BE}(t)}{R_B}\right] \quad (44)$$

$$i_B(s) = \frac{V_{BB}(s) - V_{BE}(s)}{R_B} \quad (45)$$

$$i_B(s)R_B = v_{BB}(s) - v_{BE}(s)$$

$$v_{BE}(s) = v_{BB}(s) - i_B(s)R_B \quad (46)$$

Berdasarkan hasil karakterisasi transistor, keadaan saturasi (*ON*) tercapai ketika $v_{BE} = +0,86$ V, $R_B = 1$ k Ω dan $i_B = 0,01$ A. Arus basis akan mengendalikan arus kolektor yang nantinya mengendalikan *relay* (aktuator). Sedangkan transistor akan mengalami *cut off* apabila v_{BE} bernilai kurang dari 0,77 V.

Fungsi transfer untuk transistor adalah:

$$v_{BE}(s) = \frac{0,86}{s}$$

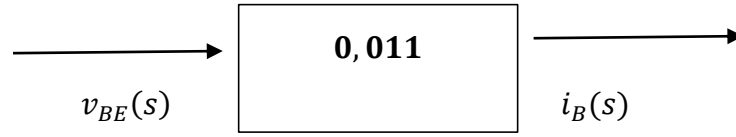
$$v_{BB}(s) = v_{BE}(s) + i_B(s)R_B$$

$$v_{BB}(s) = \frac{0,86}{s} + \frac{10}{s} = \frac{10,86}{s}$$

$$G_4(s) = \frac{i_B(s)}{v_{BE}(s)} = \frac{v_{BB}(s) - v_{BE}(s)}{v_{BE}(s)R_B}$$

$$G_4(s) = \frac{\frac{10,86}{s} - \frac{0,86}{s}}{\frac{0,86}{s} \times 1000} = \frac{10}{860} = 0,011 \quad (47)$$

Jadi, dapat digambarkan diagram blok rangkaian saklar transistor sebagai berikut:



Gambar 34. Diagram blok rangkaian saklar transistor

e. Blok Relay

Berdasarkan Gambar 18 untuk mengaktifkan *switch relay* maka arus harus mengalir dari emitor ke kolektor (transistor PNP), sehingga arus *relay* sama dengan arus kolektor ($i_c = i_{relay}$).

Fungsi transfer untuk rangkaian *relay* yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (28) adalah :

$$v_{CE}(t) = v_{CC}(t) - i_C(t) \cdot R_C$$

Karena $i_C = i_B \beta$, sehingga :

$$v_{CE}(t) = v_{CC}(t) - i_B(t) \beta \cdot R_C \quad (48)$$

Saat $i_B = 0,01$ A maka nilai $i_C = 0,099$ A, $R_C = 121 \Omega$ dan $\beta = 9,9$. Transformasi Laplace persamaan (48) adalah :

$$\mathcal{L}[v_{CE}(t)] = \mathcal{L}[v_{CC}(t) - i_B(t) \beta \cdot R_C] \quad (49)$$

$$v_{CE}(s) = v_{CC}(s) - i_B(s) \beta \cdot R_C \quad (50)$$

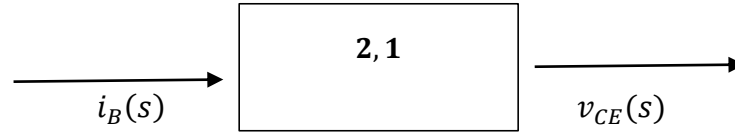
$$v_{CC}(s) = \frac{12}{s}$$

$$i_B(s) = \frac{0,01}{s}$$

Diagram dan fungsi transfer blok untuk *relay* adalah :

$$G_5(s) = \frac{v_{CE}(s)}{i_B(s)} = \frac{v_{CC}(s) - i_B(s) \beta \cdot R_C}{i_B(s)} \quad (51)$$

$$G_5(s) = \frac{\frac{12}{s} - \frac{0,01}{s} 9,9 \times 121}{\frac{0,01}{s}} = \frac{12 - 11,979}{0,01} = 2,1 \quad (52)$$



Gambar 35. Diagram blok rangkaian *relay*

f. Blok Pemanas Kawat Nikelin

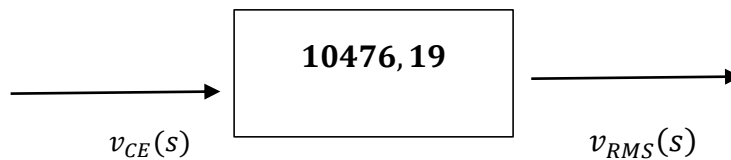
Sumber panas mesin tetap berasal dari arus listrik pada kawat Nikelin yang dikendalikan oleh *relay*. Pada saat $v_{CE} = 21$ mV kawat Nikelin teraliri arus, dan saat $v_{CE} = v_{CC} = 12$ V, maka kawat Nikelin dalam keadaan *OFF* (tidak ada arus yang mengalir), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$v_{RMS} = \begin{cases} 220 \text{ V,} & \text{jika } v_{CE} = 21 \text{ mV} \\ 0 \text{ V,} & \text{jika } v_{CE} = 12 \text{ V} \end{cases} \quad (53)$$

Diagram blok dan fungsi transfer dari persamaan (53) adalah:

$$v_{RMS}(s) = \frac{220}{s} \quad (54)$$

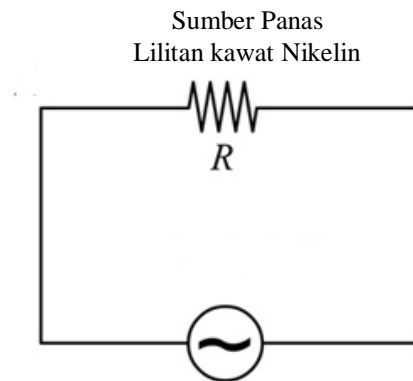
$$G_5(s) = \frac{v_{RMS}(s)}{v_{CE}} = \frac{220}{s^{0,021}/s} = 10476,19 \quad (55)$$



Gambar 36. Diagram blok rangkaian pemanas kawat Nikelin

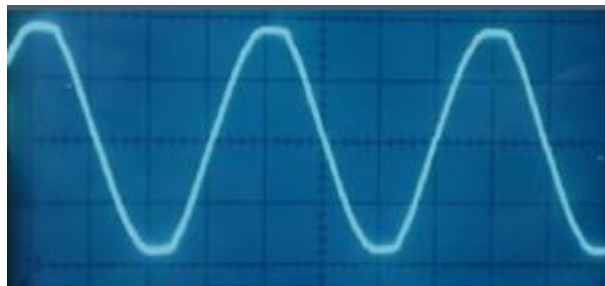
Berdasarkan pengukuran, besar hambatan total kawat Nikelin adalah 426Ω dengan panjang 6 m. Sumber pemanas berasal dari hambatan kawat

yang dialiri arus dari sumber tegangan AC PLN 220 V. Rangkaian pemanas kawat Nikelin ditunjukkan pada Gambar 36.



Gambar 37. Rangkaian Pemanas

Kawat Nikelin menggunakan sumber tegangan AC PLN dengan bentuk gelombang sinusoid . Jika diamati dengan menggunakan CRO maka terlihat bahwa gelombang tegangan tidak sinusoid ideal, seperti dapat dilihat pada Gambar 37.



Gambar 38. Gelombang tegangan AC PLN diamati dengan CRO

Kemudian dilakukan analisis gelombang tegangan AC menggunakan *software Specta Plus* dengan tegangan output dari rangkaian pembagi tegangan yaitu 6 V AC dari transformator *step-down*. Besarnya nilai frekuensi gelombang AC PLN yang terbaca pada *Specta Plus* adalah 51, 14 Hz.

Kawat Nikelin dihubungkan dengan sumber tegangan AC PLN agar dapat menghantarkan panas, sehingga perlu diketahui tegangan efektif atau disebut dengan tegangan RMS (*Root Mean Square*) dari tegangan AC PLN, yang dapat dihitung menggunakan persamaan (56):

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad (56)$$

Jika integral pada persamaan (56) diubah dalam bentuk penjumlahan akan menjadi:

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^{t=T} V(t)^2 \Delta t} \quad (57)$$

Besarnya tegangan yang terbaca pada *Spectra Plus* berasal dari rangkaian pembagi tegangan yang sebelumnya sudah diturunkan dengan trafo *stepdown*. Oleh karena itu perlu dihitung konstanta perbandingan antara tegangan *Spectra Plus* sampai dengan tegangan AC PLN. Tabel 3 menunjukkan perbandingan tegangan AC hasil analisis.

Tabel 3 Perbandingan tegangan AC hasil analisis:

No	Perbandingan Sumber Tegangan	Besar nilai tegangan (V)	Konstanta Perbandingan
1	$\frac{\text{AC PLN}}{\text{Trafo}}$	$\frac{219,97}{6}$	36,67
2	$\frac{\text{Trafo}}{\text{Pembagi Tegangan}}$	$\frac{6}{0,053}$	112,99
3	$\frac{\text{Pembagi Tegangan}}{\text{Spectra Plus}}$	$\frac{0,0531}{0,00104}$	51,05

Tegangan RMS di aplikasi *Spectra Plus* adalah 1,04 mV. Apabila nilai tegangan RMS dari *Spectra Plus* dikalikan dengan setiap konstanta pembanding pada Tabel 3, tegangan RMS AC PLN (v_{RMS}) adalah 219,97 V. Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (58) sebagai berikut:

$$P = \frac{v_{RMS}^2}{R} \quad (58)$$

Dari hasil persamaan (58) diperoleh besarnya daya listrik untuk memanaskan inkubator adalah 113,58 watt.

Model matematika dan fungsi transfer untuk pemanas adalah:

$$\mathcal{L}[P(t)] = \mathcal{L}\left[\frac{v_{RMS}^2(t)}{R}\right] \quad (59)$$

$$P(s) = \frac{v_{RMS}^2(s)}{R} = \frac{48386,8}{sR}$$

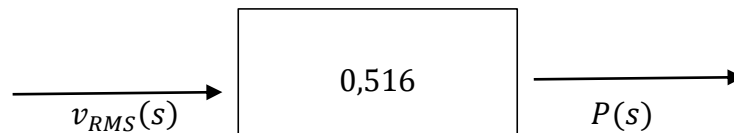
$$v_{RMS}(s) = \frac{219,97}{s}$$

$$G_7(s) = \frac{P(s)}{v_{RMS}(s)} = \frac{\frac{v_{RMS}^2(s)}{R}}{v_{RMS}(s)}$$

$$G_7(s) = \frac{48386,8/sR}{219,97/s}$$

$$G_7(s) = \frac{219,97}{426} = 0,516 \quad (60)$$

Pada komponen pemanas v_{RMS} sebagai *input* dan menghasilkan *output* berupa daya P seperti pada Gambar 38.



Gambar 39. Blok pemanas (lilitan kawat Nikelin)

Ketika proses pemanasan berlangsung, jika daya yang digunakan semakin besar maka jumlah arus yang melalui kawat akan semakin besar, sehingga suhu inkubator akan semakin panas.

Model matematika proses pemanasan adalah :

$$T \sim P \quad (61)$$

$$T = K.P \quad (62)$$

$$T(t) = K.P(t) \quad (63)$$

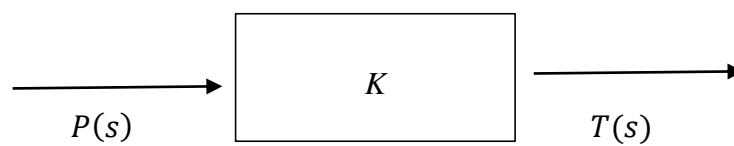
K adalah konstanta yang menunjukkan besarnya nilai perubahan suhu setiap terjadi perubahan daya listrik sebesar 1 watt. Dengan menggunakan persamaan (63) diperoleh fungsi transfer sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[T(t)] &= \mathcal{L}[K.P(t)] \\ T(s) &= K.P(s) \end{aligned} \quad (64)$$

$$G_8(s) = \frac{T(s)}{P(s)} = \frac{K.P(s)}{P(s)} \quad (65)$$

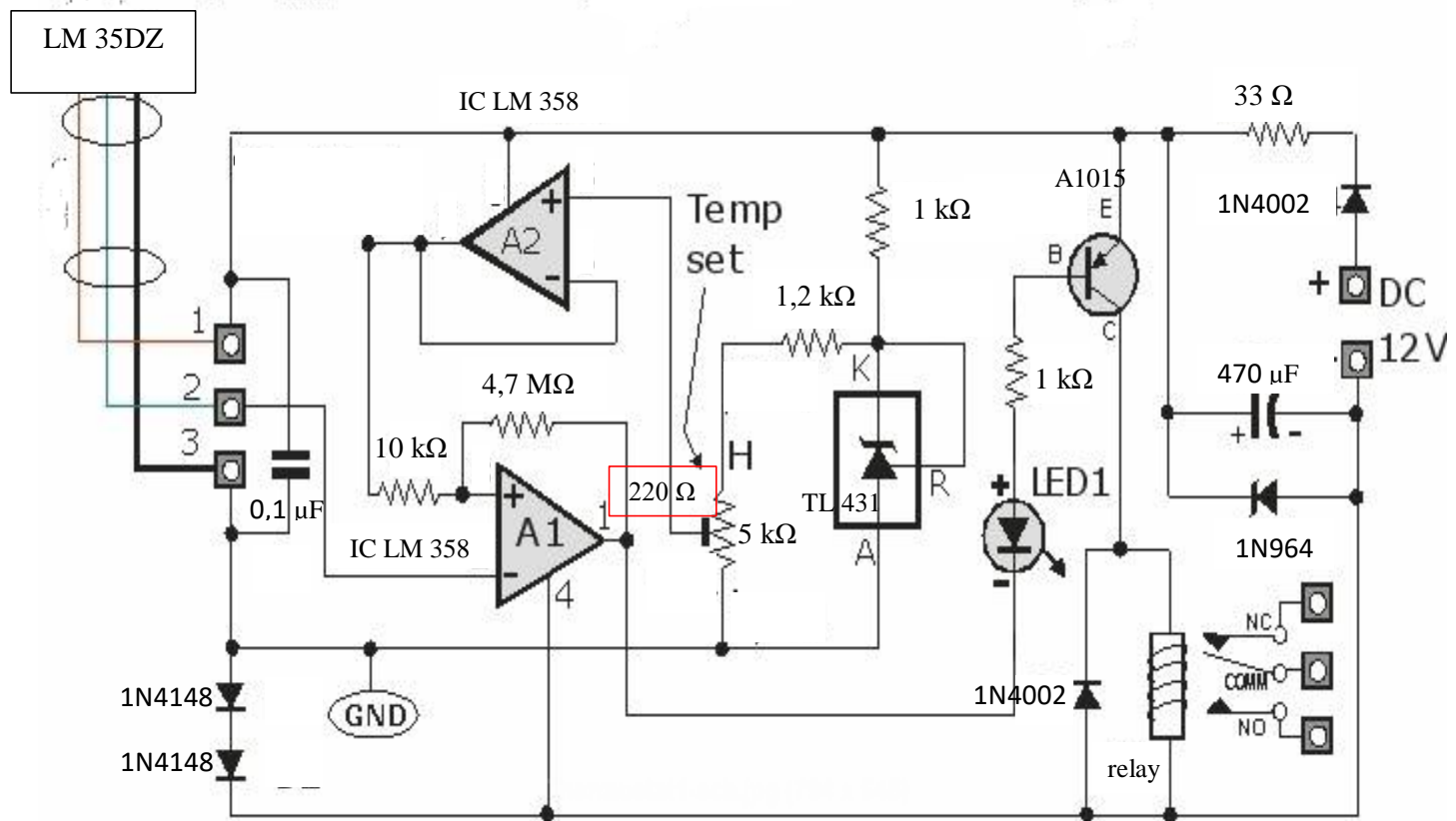
$$G_8(s) = K \quad (66)$$

Gambar 39 merupakan blok proses pemanasan dengan *input* adalah daya dan *output* adalah suhu ruang.



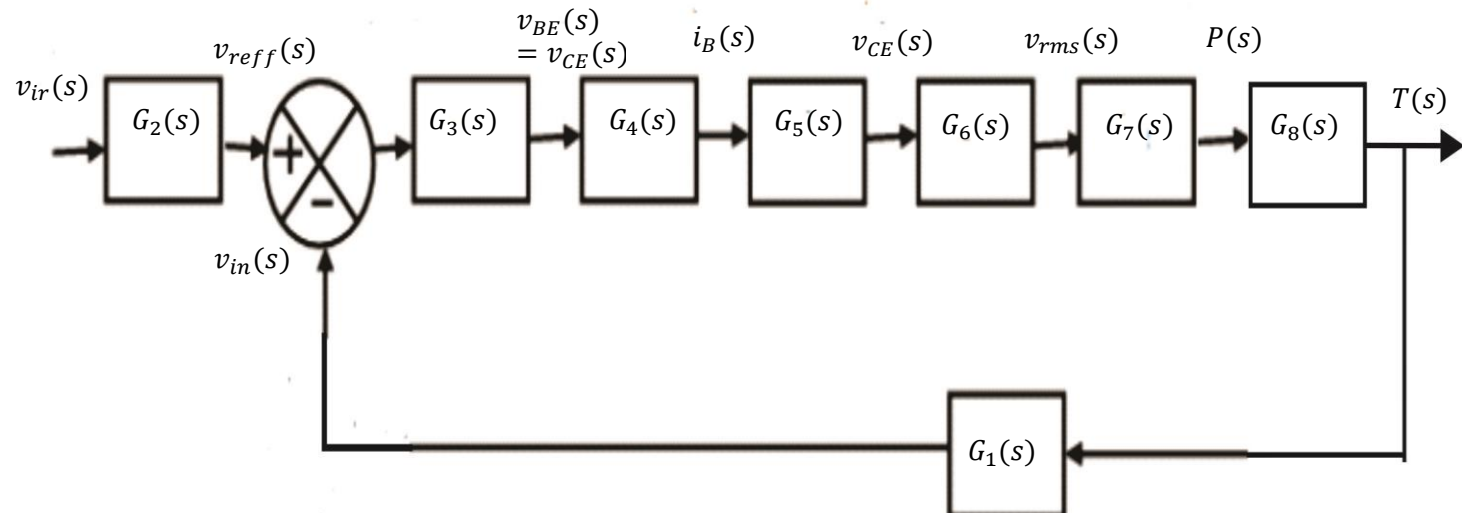
Gambar 40. Blok proses pemanasan

g. Blok rangkaian sistem kontrol suhu



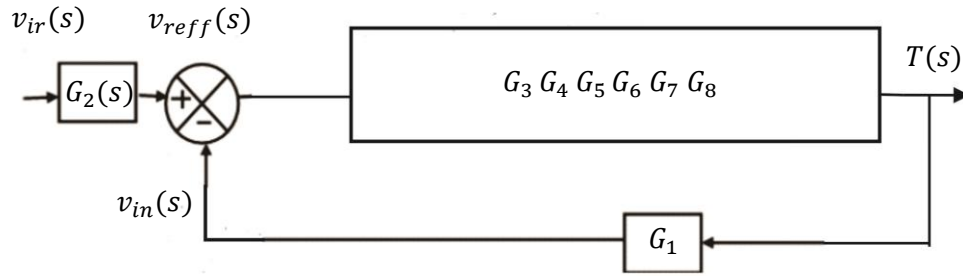
Gambar 41. Rangkaian sistem kontrol suhu

Diagram blok keseluruhan sistem kontrol berdasarkan analisis pada masing – masing diagram blok seperti pada Gambar 41.

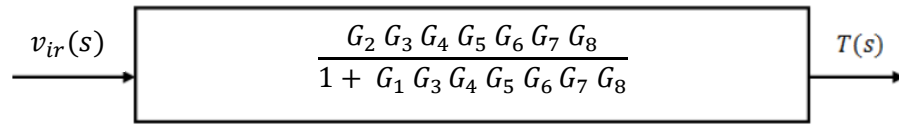


Gambar 42. Diagram blok keseluruhan rangkaian kontrol suhu

Diagram blok pada Gambar 41 dapat direduksi dengan menggunakan aturan penyederhanaan diagram blok. Gambar 42 dan 43 adalah penyederhanaan diagram blok pada Gambar 41.



Gambar 43. Reduksi diagram blok sistem kontrol suhu



Gambar 44. Diagram blok ekivalen sistem kontrol suhu

Jadi, fungsi transfer dari sistem kontrol suhu secara keseluruhan adalah:

$$\frac{T(s)}{v_{ir}(s)} = \frac{(0,154)(470)(0,011)(2,1)(10476,19)(0,516)(K)}{1+(0,009)(470)(0,011)(2,1)(10476,19)(0,516)(K)} \quad (67)$$

$$\frac{T(s)}{v_{ir}(s)} = \frac{9038,23K}{1+528,20K} \quad (68)$$

B. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat penetas telur itik muscovy dapat bekerja sesuai perencanaan yang telah ditentukan, dan mengetahui kerja sistem pada rangkaian kontrol suhu secara menyeluruh.

1. Pengujian rangkaian sistem kontrol suhu

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menempatkan LM 35DZ dan thermometer dalam inkubator. Pengukuran distribusi suhu dilakukan pada 20 titik penempatan telur. Data hasil pengukuran distribusi suhu digunakan untuk menentukan posisi LM 35DZ yang paling stabil. Berikut hasil pengukuran distribusi suhu :

Tabel 4. Hasil pengukuran distribusi suhu pada mesin tetas.

No	Titik	$(T \pm \Delta T) ^\circ\text{C}$
1	1	$38,10 \pm 0,04$
2	2	$38,02 \pm 0,04$
3	3	$38,13 \pm 0,04$
4	4	$38,09 \pm 0,05$
5	5	$38,16 \pm 0,03$
6	6	$38,26 \pm 0,03$
7	7	$38,13 \pm 0,04$
8	8	$38,1 \pm 0,2$
9	9	$38,17 \pm 0,03$
10	10	$38,16 \pm 0,03$
11	11	$38,21 \pm 0,04$
12	12	$38,12 \pm 0,04$
13	13	$38,14 \pm 0,02$
14	14	$38,09 \pm 0,04$
15	15	$38,12 \pm 0,05$
16	16	$38,25 \pm 0,03$
17	17	$38,17 \pm 0,04$
18	18	$38,12 \pm 0,04$
19	19	$38,20 \pm 0,04$
20	20	$38,18 \pm 0,03$

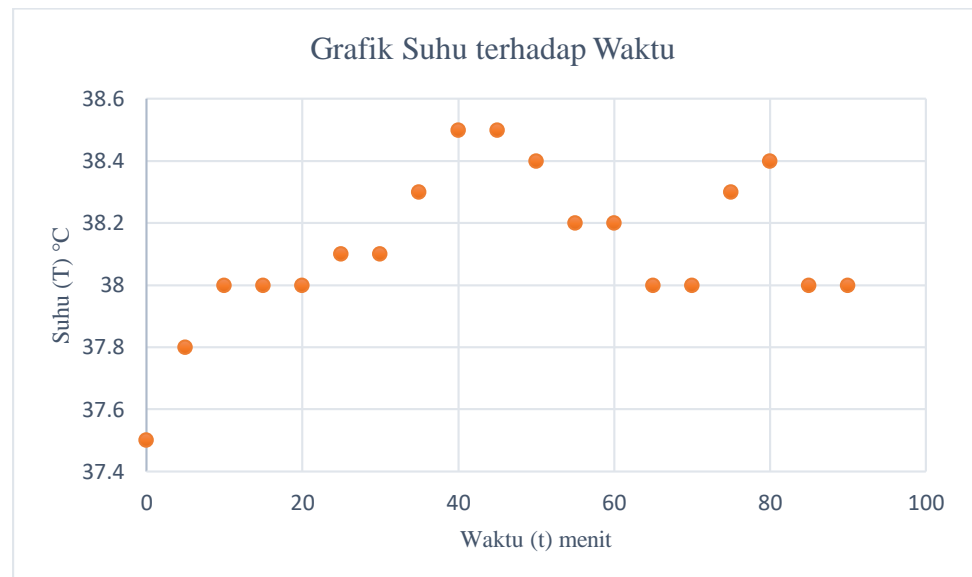
16	17	18	19	20
11	12	13	14	15
6	7	8	9	10
1	2	3	4	5

Gambar 45. Penempatan titik – titik telur

Berdasarkan hasil distribusi suhu dari Tabel 4 bisa disimpulkan bahwa kondisi suhu paling stabil berada di titik 13; hal tersebut didasarkan pada besar ralat suhu atau ketidakpastiannya ($38,14 \pm 0,02$) °C. Sesuai hasil pengukuran distribusi suhu, kondisi masing – masing titik hampir merata. Jika suhu merata, maka suhu tetap berada pada rentang *set point* yang diinginkan di setiap titik penempatan telur. Sensor yang diletakkan pada titik yang stabil akan mengoptimalkan kinerja mesin tetas dan transduser suhu. Ketika suhu dibaca oleh LM 35 DZ, diharapkan saklar berada pada keadaan *ON/OFF* sesuai dengan *set point* yang ditentukan.

2. Pengujian kestabilan rangkaian sistem kontrol suhu

Untuk mengetahui sistem yang dibuat mampu bekerja sesuai dengan *set point* dan mengetahui kestabilan suhu saat kondisi *ON/OFF* di masing – masing rak telur, dilakukan pengukuran perubahan suhu ketika proses pemanasan (*ON*) dan perubahan suhu ketika (*OFF*) setiap 5 menit dalam rentang waktu 90 menit menggunakan thermistor NTC 10 k. Gambar 45 menunjukkan kestabilan suhu dalam ruang inkubator tanpa adanya kontrol kelembaban.



Gambar 46. Grafik kestabilan suhu inkubator

Berdasarkan Gambar 45 hasil grafik menunjukkan kondisi yang cukup stabil di tiap titik telur dimana kondisi awal mengalami kenaikan suhu dan selanjutnya terjadi perubahan suhu tiap menit sehingga mengalami fluktuasi sesuai dengan perubahan suhu.

Proses pemanasan (*ON*) pada inkubator menggunakan sumber tegangan AC PLN 220 V yang dihubungkan dengan kawat Nikelin. Semakin banyak frekuensi *ON-OFF* pada sistem kontrol suhu, maka jumlah energi

listrik yang digunakan semakin besar. Persamaan (59) dapat digunakan untuk menghitung besar daya listrik yang digunakan selama proses pemanasan. Berdasarkan perhitungan, besar daya listrik setiap kali proses pemanasan adalah 113,61 watt. Persamaan (69) menunjukkan besarnya energi listrik yang digunakan, dimana E adalah energi, dan t adalah waktu.

$$E = Pt \quad (69)$$

Dalam praktiknya proses pemanasan hanya terjadi *satu kali dalam sehari*, yaitu saat inkubator dibuka untuk mengontrol kelembaban ruang dengan cara mengganti air dalam wadah. Setelah mengontrol kelembaban ruang penetasan, maka akan terjadi proses pemanasan selama 5 menit. Menggunakan persamaan (69) didapatkan besar energi listrik yang digunakan selama proses penetasan adalah:

$$\begin{aligned} E &= (113,58\text{watt})\left(\frac{5}{60}\text{ hour}\right)(24)(33) \\ &= 7496,16 \text{ watthour} \\ &= 7,49616\text{kWh} \approx 7,5 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (70)$$

Hasil perhitungan pada persamaan (70) adalah energi listrik keseluruhan saat proses penetasan telur itik muscovy. Telur dianggap menetas pada hari ke 33.

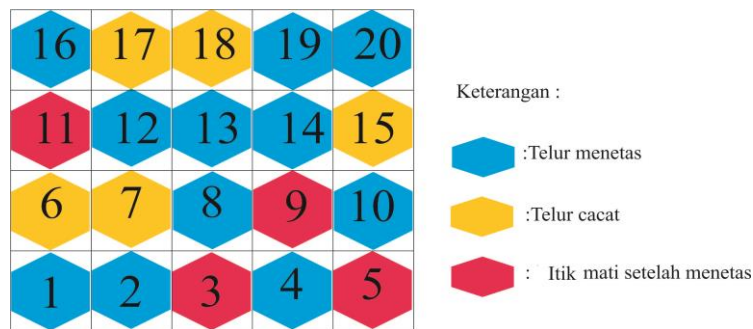
C. Pembahasan

Pada saat alat penetas dinyalakan, secara otomatis pemanas (kawat Nikelin) mulai menyala. Keadaan suhu awal ruang inkubator adalah 28°C perlahan naik mencapai suhu yang dibutuhkan untuk penetasan telur itik muscovy yaitu sebesar (37,5 – 38,5) °C. Ketika suhu yang dibaca oleh LM 35 DZ lebih tinggi dari *set point* maka secara otomatis jarum *relay* akan bergerak pada keadaan *OFF* (pemanas kawat Nikelin mati). Namun ketika suhu mengalami penurunan dibawah suhu yang dikehendaki, maka *relay* secara otomatis akan *ON* (pemanas kawat Nikelin hidup).

Penetasan telur itik muscovy dilakukan selama 33 – 35 hari. Sebelum dimasukkan ke dalam mesin penetasan, telur dibilas terlebih dahulu menggunakan air hangat secara merata agar tidak terinfeksi bakteri. Untuk hari pertama telur dimasukkan ke dalam mesin tetas dengan posisi miring atau tegak (bagian tumpul di atas) hal itu dilakukan agar rongga udara untuk sirkulasi dalam telur tidak tertutupi, dan ventilasi ditutup rapat sampai hari ketiga. Setelah hari ke-3 dilakukan pembalikan telur sebanyak 3 kali dalam sehari dalam rentang waktu setiap 8 jam. Hal ini karena embrio sudah mulai terbentuk dan siap untuk ditetaskan. Selain itu pada hari ke-3 dilakukan penambahan air pada bak jika jumlah air dalam bak tersebut berkurang. Saat telur sudah mulai menetas cangkang telur dikeluarkan dari rak agar *space* atau ruangan lebih longgar. Setelah semuanya selesai, mesin tetas dibersihkan dan difumigasi (permbersihan terhadap hama) kembali untuk persiapan proses penetasan berikutnya.

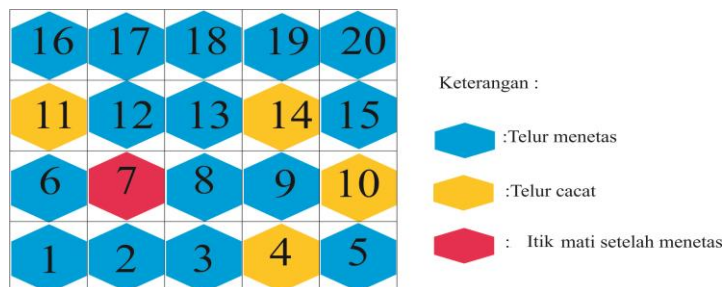
Pengujian penetasan telur dilakukan sebanyak tiga kali, dimana pengujian tahap pertama dan tahap kedua menggunakan mesin tetas berbahan dasar keramik, sedangkan untuk tahap ketiga menggunakan mesin tetas berbahan kayu/triplek. Hal ini dilakukan agar bisa membandingkan hasil penetasan telur yang lebih baik.

Penetasan tahap pertama dengan jumlah telur sebanyak 20 butir. Jumlah telur itik muscovy yang menetas sebanyak 11 butir yaitu pada titik nomor 1, 2, 4, 8, 10, 12, 13, 14, 16, 19 dan 20. Sedangkan 4 lainnya mati setelah penetasan, dan 5 cacat (tidak menetas). Dengan demikian keberhasilan penetasan telur tahap pertama adalah 55%. Gambar 46 menunjukkan hasil pemetaan penetasan telur tahap pertama.



Gambar 47. Pemetaan hasil penetasan telur tahap pertama

Pada penetasan telur tahap kedua, jumlah telur adalah 20 butir, sebanyak 15 butir telur menetas, 4 tidak menetas (cacat) dan 1 itik mati setelah penetasan. Sehingga pada tahap kedua keberhasilan penetasan mencapai 60%. Gambar 47 menunjukkan hasil pemetaan penetasan telur itik muscovy tahap kedua.

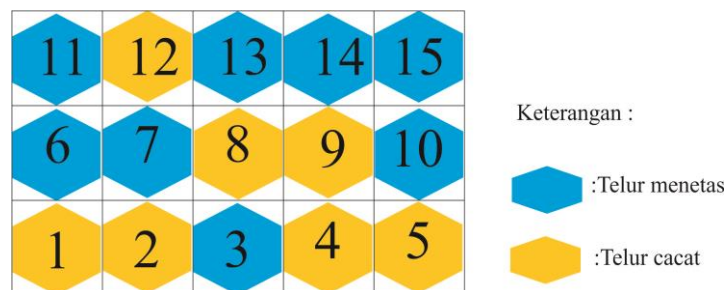


Gambar 48. Pemetaan hasil penetasan telur tahap kedua

Pada pengujian tahap pertama dan kedua didapatkan hasil pengukuran kelembaban mesin tetas berbahan keramik yaitu 70 % - 74% dimana

kelembaban ideal untuk mesin penetas telur itik muscovy adalah 58 % - 62 %, hal tersebut mengakibatkan itik mati setelah mengalami penetasan. Tingginya kelembaban dalam ruang inkubator menyebabkan penimbunan cairan di dalam telur sehingga embrio sulit untuk bernafas dan akhirnya mati.

Untuk penetasan telur menggunakan mesin tetas berbahan dasar kayu/triplek dengan besar energi listrik adalah 39,6 kWh jumlah telur yang ditetaskan sebanyak 15 butir. Hasil telur yang menetas sebanyak 8 butir dan 7 lainnya tidak menetas. Hasil penetasan tahap ketiga mencapai 53.33% dengan hasil pengukuran kelembaban 50% - 54%. Gambar 48 menunjukkan pemetaan hasil penetasan telur dengan mesin tetas berbahan dasar kayu/triplek.



Gambar 49. Pemetaan hasil penetasan telur dengan mesin tetas berbahan dasar kayu/triplek

Berdasarkan hasil penetasan telur itik muscovy tahap pertama dan kedua dibandingkan dengan tahap ketiga, keberhasilan mesin tetas menggunakan keramik lebih tinggi dibandingkan mesin tetas yang terbuat dari kayu/triplek. Mesin tetas yang terbuat dari bahan keramik mampu mempertahankan suhu tetas lebih lama dibandingkan kayu; hal ini disebabkan oleh kemampuan keramik yang mampu mengabsorpsi panas dari lingkungan dan memiliki konduktivitas panas yang rendah. Selain itu penggunaan keramik lebih hemat energi dibandingkan kayu yaitu 7,5 kWh untuk penetas bahan keramik dan 39,6 kWh untuk penetas bahan kayu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Telah dirancang bangun sebuah alat penetas telur otomatis yang memiliki suhu konstan agar telur bisa ditetaskan dengan baik pada interval suhu yang dibutuhkan.
2. Analisis sistem kontrol pada alat penetas telur otomatis bekerja pada suhu $37,5\text{ }^{\circ}\text{C} - 38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jika suhu lebih tinggi dari $38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ maka aktuator (*relay*) dan pemanas pada kawat Nikelin akan *OFF*, sedangkan jika suhu lebih rendah dari $37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, maka *relay* (aktuator) dan pemanas pada kawat Nikelin akan *ON*.
3. Besar energi listrik pada alat penetas telur itik muscovy berbahan dasar keramik selama proses penetasan adalah 7,5 kWh.
4. Efisiensi alat penetas telur yang lebih hemat energi adalah penggunaan mesin tetas dengan bahan keramik yaitu 7,5 kWh sedangkan kayu 39,6 kWh.

B. Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, supaya proses penetasan berjalan dengan sempurna, diperlukan perbaikan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol otomatis untuk kelembaban.
2. *Display* hasil pembacaan suhu ruang dan kelembaban ditempatkan di luar mesin tetas agar mempermudah pengontrolan setiap saat.
3. Alat yang tetap bekerja di saat listrik padam agar mesin penetas telur tetap bekerja.
4. Pemilihan dan pembersihan telur sebelum ditetaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiharto Widodo dan Sigit Firmansyah. (2005). Elektronika Digital dan Mikroprosesor. Yogyakarta: Andi.
- Clayton George & Winder Steve. (2005). Operational Amplifiers. (Alih Bahasa: Wiwit Kastawan). Jakarta: Erlangga.
- Feily dan Bagus Harianto. (2012). 40 Hari Panen Itik Raja. Jakarta Selatan : PT Agro Media Pustaka.
- Hermawan dan Rudi. (2014). Rahasia Membuat Mesin Tetas Berkualitas. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Hetzell, D. J. S. 1985a . Duck Breeding Strategies - The Indonesian Example. In Duck Production Science and World Practice . Farrell, D.J . and Stapleton, p. (ed) . University of New England, pp . 204 – 223.
- Ismunandar (KimiaITB). (2004). Keramik. (<http://www.kimianet.lipi.go.id>) diakses pada 18 Oktober 2017, 22.03 WIB.
- Kortlang, C. F. H. F. (1985). The Incubation of Duck Egg. In : Duck Production Science and World Practice . Farrell, D.J . and Stapleton, p. (ed) . University of New England, pp . 168-177.
- Linus Simanjutak. (2004). Mengenal Lebih Dekat Tiktok : Unggas Pedaging Hasil Persilangan Itik dan Entok. Jakarta: Agro Media Pustaka
- Malvino, Albert Paul. (1985). Prinsip – Prinsip Elektronika. (Alih Bahasa M. Barmawi dan M.O Tjia). Jakarta: Erlangga.
- Mandal, Ajit K. (2006). Introduction to Control Engineering Modeling, Analysis, and Design. New Delhi: New Age International (P) Ltd, Publisher.
- Muhsin, Muhammad. 2004. Elektronika Digital. Yogyakarta: Andi.
- Ogata, Katsuhiko. 1996. Modern Control Engineering (Teknik Kontrol Automatik). (Alih bahasa: Edi Laksono). Jakarta : Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. Modern Control Engineering 5th edition. New Jersey: Pearson Education, Inc.

- Paimin Farry B. (2011). Membuat dan Mengelola Mesin Tetap. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Rafiuddin Syam, PhD. (2013). Dasar-Dasar Teknik Sensor. Makasar : Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Saklar Sentuh. Diakses dari <http://sulihan.blogspot.co.id/2012/05/saklarsentuh.html>, pada tanggal 18 Oktober 2017, 21.15 WIB.
- Secos Elektronische Bauelemente A1015. (2011). (<http://www.SeCoSGmbH.com>) diakses pada 21 Mei 2017 jam 00:46 WIB.
- Setiadi, P. A. Lasmini, A. R. Setioko dan A. P. Sinurat. 1992. Pengujian Metoda Penetasan Telur Itik Tegal di Pedesaan. Prosiding Pengelolaan dan Komunikasi Hasil-hasil Penelitian Balai Penelitian Ternak, Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan.
- Setiawan dan Candra Aan. (2007). Sistem Kendali Rangkaian Listrik Menggunakan PC Melalui Port Paralel. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sofyan, Bondan T. (2010). Pengantar Material Teknik. Jakarta: Salemba Teknik.
- Sumarna. (2017). Bahan Kuliah Keterampilan Elektronika. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Surjono, Hermawan Dwi. (2009). Elektronika Lanjut. Jember: Cerdas Ulet Kreatif.
- Sukardi. H, Riswantiyah dan Sri Muljowati. (1999). Dasar Ternak Unggas. Purwokerto : Fakultas Peternakan UNSOED Purwokerto.
- Texas Instrument Data Sheet LM 35DZ. (2016). (www.ti.com) diakses pada 17 Oktober 2017 jam 11:07 WIB.
- Texas Instrument Data Sheet LM 35 (2016). (www.ti.com) diakses pada 08 Oktober 2017 jam 06:03 WIB.
- Texas Instrument Data Sheet TL 431. (2015). (www.ti.com) diakses pada 21 Mei 2017 jam 00:34 WIB.
- Tirto Hartono dan Isman. (2012). Kiat Sukses Menetaskan Telur Ayam. Jakarta Selatan : PT Agro Media Pustaka.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Data Pengukuran Distribusi Suhu Pada Penetas Telur Itik Muscovy (°C)

NO	Titik Telur																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	37.5	37.2	37.4	37.3	37.7	37.8	37.6	37.5	37.7	37.6	37.7	37.5	37.9	37.3	37.2	37.8	37.6	37.4	37.4	37.6
2	37.5	37.2	37.5	37.3	37.8	37.8	37.7	37.6	37.7	37.6	37.7	37.5	37.9	37.4	37.3	37.8	37.6	37.5	37.4	37.7
3	37.6	37.3	37.5	37.5	37.8	37.9	37.8	37.6	37.8	37.7	37.7	37.6	38	37.5	37.4	37.9	37.8	37.5	37.6	37.8
4	37.6	37.4	37.6	37.5	37.9	37.9	37.8	37.7	37.9	37.8	37.8	37.7	38	37.6	37.5	38	37.8	37.6	37.6	37.8
5	37.6	37.6	37.7	37.6	37.9	38	37.9	37.7	37.9	37.9	37.9	37.8	38.2	37.7	37.6	38	37.9	37.7	37.7	38
6	37.8	37.8	37.9	37.6	38	38.1	37.9	37.8	38	38	37.9	37.9	38.2	37.8	37.7	38.1	37.9	37.8	37.8	38
7	37.9	37.8	37.9	37.8	38	38.2	38	37.8	38.1	38	38	37.9	38.3	37.9	37.8	38.2	38	37.9	37.8	38.1
8	38	37.9	38	37.8	38.1	38.2	38	37.9	38.1	38.1	38.1	38	38.3	38	37.9	38.3	38.1	38	37.9	38.2
9	38.1	38	38	37.9	38.1	38.3	38.1	37.9	38.2	38.1	38.2	38.1	38.4	38.1	38	38.4	38.2	38.1	38	38.3
10	38.2	38	38.1	37.9	38.2	38.4	38.2	37.9	38.3	38.2	38.2	38.2	38.4	38.2	38	38.5	38.3	38.2	38	38.4
11	38.3	38.1	38.2	38	38.3	38.5	38.3	38	38.4	38.3	38.4	38.3	38.5	38.3	38.1	38.6	38.4	38.2	38.2	38.4
12	38.4	38.2	38.3	38.1	38.5	38.5	38.4	38	38.5	38.3	38.5	38.4	38.5	38.4	38.2	38.6	38.5	38.3	38.3	38.5
13	38.4	38.2	38.4	38.1	38.6	38.6	38.4	38.2	38.6	38.4	38.5	38.5	38.5	38.5	38.3	38.7	38.5	38.3	38.3	38.6
14	38.5	38.3	38.4	38.2	38.7	38.6	38.5	38.2	38.7	38.4	38.6	38.5	38.4	38.5	38.4	38.7	38.6	38.3	38.3	38.6
15	38.5	38.4	38.5	38.4	38.7	38.5	38.5	38.3	38.6	38.3	38.6	38.4	38.4	38.4	38.5	38.5	38.4	38.5	38.4	38.5
16	38.4	38.5	38.6	38.5	38.6	38.4	38.4	38.4	38.5	38.4	38.6	38.3	38.3	38.3	38.6	38.4	38.4	38.5	38.5	38.5
17	38.3	38.3	38.5	38.5	38.5	38.3	38.3	38.4	38.4	38.5	38.5	38.3	38.2	38.2	38.6	38.3	38.4	38.5	38.5	38.4
18	38.2	38.2	38.4	38.4	38.4	38.3	38.2	38.5	38.3	38.3	38.5	38.2	38.2	38.1	38.5	38.2	38.3	38.4	38.4	38.4
19	38.1	38.1	38.3	38.4	38.3	38.2	38.2	38.5	38.2	38.2	38.4	38.2	38	38	38.3	38.2	38.2	38.4	38.3	38.3
20	38	38	38.3	38.3	38.2	38.2	38.1	38.4	38.1	38.1	38.3	38.1	38	37.9	38.3	38.1	38.2	38.3	38.3	38.3
21	38	37.8	38.2	38.3	38.1	38.2	38.1	38.3	38	37.9	38.2	38	37.9	37.8	38.2	38	38.1	38.3	38.3	38.2
22	37.9	37.9	38.1	38.2	38	38.1	38.2	38.3	38.1	38	38.1	38	37.9	37.8	38.2	38	38.1	38.2	38	38.2

23	38	38	38	38.2	37.9	38.1	38.3	38.2	38.2	38.1	38.1	38.1	38	37.9	38.1	38	38.2	38.1	38	38.1
24	38	38.1	37.9	38.3	37.9	38.2	38.4	38.1	38.2	38.2	38	38.2	38	38	38.2	38.1	38.3	38.1	38	38
25	38.1	38.2	38	38.4	38	38.3	38.4	38	38.3	38.2	38	38.3	38.1	38	38.3	38.2	38.4	38.2	38.2	38
26	38.2	38.3	38.1	38.4	38	38.3	38.5	38.2	38.4	38.3	38.1	38.4	38.2	38.1	38.4	38.2	38.4	38.3	38.3	38.2
27	38.3	38.4	38.2	38.5	38.1	38.4	38.6	38.2	38.4	38.3	38.2	38.4	38.2	38.2	38.5	38.3	38.5	38.3	38.3	38.3
28	38.3	38.5	38.3	38.5	38.2	38.4	38.6	38.3	38.5	38.3	38.4	38.5	38.3	38.2	38.5	38.4	38.5	38.4	38.4	38.4
29	38.4	38.5	38.4	38.6	38.2	38.5	38.5	38.4	38.5	38.4	38.5	38.6	38.4	38.3	38.6	38.4	38.6	38.4	38.5	38.5
30	38.4	38.4	38.6	38.5	38.3	38.5	38.4	38.4	38.5	38.4	38.6	38.6	38.4	38.3	38.6	38.5	38.6	38.5	38.5	38.5
31	38.5	38.4	38.5	38.4	38.4	38.6	38.3	38.6	38.4	38.5	38.6	38.5	38.5	38.4	38.5	38.5	38.5	38.5	38.6	38.5
32	38.5	38.3	38.5	38.3	38.5	38.6	38.2	38.5	38.3	38.5	38.5	38.4	38.5	38.5	38.4	38.6	38.4	38.3	38.6	38.4
33	38.4	38.2	38.4	38.3	38.4	38.5	38.1	38.4	38.2	38.5	38.5	38.3	38.3	38.5	38.4	38.5	38.3	38.3	38.5	38.3
34	38.3	38.1	38.3	38.2	38.3	38.4	38	38.3	38.1	38.3	38.4	38.2	38.3	38.4	38.3	38.4	38.2	38.2	38.4	38.2
35	38.2	38	38.2	38.2	38.2	38.3	38	38.2	38	38.3	38.3	38.1	38.2	38.4	38.2	38.3	38.1	38.1	38.4	38.1
36	38.1	38	38.1	38.1	38.1	38.2	37.9	38.1	38	38.2	38.2	38	38.2	38.3	38.1	38.2	38	38.1	38.3	38
37	38	37.9	38.1	38	38	38.2	37.9	38	37.9	38.1	38.2	37.9	38.1	38.2	38	38.2	38	38	38.1	37.9
38	38	37.9	38	37.9	38	38.1	37.8	38	37.8	38	38	37.9	38.1	38.1	38	38.1	37.8	37.9	38	37.8
39	37.9	37.8	38	37.8	37.9	38	37.7	37.8	37.8	38	37.8	37.8	38	38.1	37.9	38.1	37.7	37.9	38	37.7
40	37.9	37.8	38	37.7	37.8	38	37.6	37.7	37.8	37.8	37.8	37.7	38	38	37.7	37.9	37.6	37.8	37.9	37.6
41	37.9	37.8	38	37.7	37.8	38	37.6	37.7	37.8	37.8	37.8	37.7	38	38	37.7	37.9	37.6	37.8	37.9	37.6
42	38	37.9	38.1	38	38	38.2	37.9	38	37.9	38.1	38.2	37.9	38.1	38.2	38	38.2	38	38	38.2	37.9
43	38.1	38	38.1	38.1	38.1	38.2	37.9	38.1	38	38.2	38.2	38	38.2	38.3	38.1	38.2	38	38.1	38.3	38
44	38.3	38.1	38.3	38.2	38.3	38.4	38	38.3	38.1	38.3	38.4	38.2	38.3	38.4	38.3	38.4	38.2	38.2	38.4	38.2
45	38.4	38.2	38.4	38.3	38.4	38.5	38.1	38.4	38.2	38.5	38.5	38.3	38.4	38.5	38.4	38.5	38.3	38.3	38.5	38.3
46	38.5	38.3	38.5	38.3	38.5	38.6	38.2	38.5	38.3	38.5	38.5	38.4	38.5	38.5	38.4	38.6	38.4	38.3	38.5	38.4
47	38.4	38.5	38.4	38.6	38.2	38.5	38.5	38.4	38.5	38.4	38.5	38.6	38.4	38.3	38.6	38.4	38.6	38.4	38.3	38.5
48	38.2	38.3	38.1	38.4	38	38.3	38.5	38.2	38.4	38.3	38.1	38.4	38.2	38.1	38.4	38.2	38.4	38.3	38.3	38.2

49	38	38.1	37.9	38.3	37.9	38.2	38.4	38.1	38.2	38.2	38	38.2	38	38	38.2	38.1	38.3	38.1	38.1	38
50	37.9	37.9	38.1	38.2	38	38.1	38.2	38.3	38.1	38	38.1	38	37.9	37.8	38.2	38	38.1	38.2	38	38.2
51	38.1	38.1	38.3	38.4	38.3	38.2	38.2	38.5	38.2	38.2	38.4	38.2	37.9	38	38.3	38.2	38.2	38.4	38.3	38.3
52	38.2	38.2	38.4	38.4	38.4	38.3	38.2	38.5	38.3	38.3	38.5	38.2	38.1	38.1	38.5	38.2	38.3	38.4	38.3	38.3
53	38.4	38.5	38.6	38.5	38.6	38.4	38.4	38.4	38.5	38.4	38.6	38.3	38.3	38.3	38.6	38.4	38.4	38.5	38.5	38.5
54	38.5	38.3	38.4	38.2	38.7	38.6	38.5	38.2	38.7	38.4	38.6	38.5	38.4	38.5	38.4	38.7	38.6	38.3	38.3	38.6
55	38.3	38.1	38.2	38	38.3	38.5	38.3	38	38.4	38.3	38.4	38.3	38.5	38.3	38.1	38.6	38.4	38.2	38.3	38.4
56	38	37.9	38	37.8	38.1	38.2	38	37.9	38.1	38.1	38.1	38	38.3	38	37.9	38.3	38.1	38	38.3	38.2
57	37.8	37.8	37.9	37.6	38	38.1	37.9	37.8	38	38	37.9	37.9	38.2	37.8	37.7	38.1	37.9	37.8	38	38.2
58	37.6	37.6	37.7	37.6	37.9	38	37.9	37.7	37.9	37.9	37.9	37.8	38.2	37.7	37.6	38	37.9	37.7	37.7	38
59	37.5	37.2	37.5	37.3	37.8	37.8	37.7	37.6	37.7	37.6	37.7	37.5	37.9	37.4	37.3	37.8	37.6	37.5	37.7	38
60	37.5	37.2	37.4	37.3	37.7	37.8	37.6	37.5	37.7	37.6	37.7	37.5	37.9	37.3	37.2	37.8	37.6	37.4	37.7	37.6
Rata-rata	38.10	38.02	38.13	38.09	38.16	38.26	38.13	38.1	38.17	38.16	38.21	38.12	38.2	38.09	38.12	38.25	38.17	38.12	38.16	38.18
ΔT	0,04	0,04	0,04	0,05	003	0,03	0,04	0,18	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03

LAMPIRAN 2. Tabel Data Kestabilan Suhu Inkubator Yang Diukur Menggunakan Thermistor NTC 10 K.

No	t (menit)	Suhu (°C)	Saklar	Hambatan/ R Masing - Masing Titik Telur (Ω)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	37.5	ON	6430	6438	6440	6450	6446	6429	6454	6439	6442	6459
2	5	37.8	OFF	6398	6401	6394	6389	6394	6383	6379	6385	6390	6393
3	10	38	OFF	6360	6360	6360	6360	6360	6359	6360	6359	6361	6360
4	15	38	OFF	6321	6321	6321	6321	6321	6320	6321	6320	6322	6321
5	20	38	OFF	6321	6321	6321	6321	6321	6320	6321	6320	6322	6321
6	25	38.1	OFF	6270	6272	6279	6274	6270	6270	6272	6272	6274	6275
7	30	38.1	OFF	6270	6270	6279	6270	6268	6269	6270	6268	6271	6265
8	35	38.3	OFF	6266	6268	6264	6265	6256	6257	6266	6267	6268	6256
9	40	38.5	OFF	6245	6240	6242	6250	6248	6241	6240	6239	6241	6240
10	45	38.5	OFF	6242	6243	6241	6247	6240	6239	6246	6237	6244	6242
11	50	38.4	OFF	6251	6254	6261	6256	6249	6248	6249	6248	6250	6249
12	55	38.2	OFF	6269	6270	6273	6266	6271	6268	6269	6288	6270	6269
13	60	38.2	OFF	6291	6274	6284	6288	6279	6281	6275	6295	6284	6281
14	65	38	OFF	6370	6372	6376	6387	6381	6359	6360	6359	6361	6360
15	70	38	OFF	6363	6360	6360	6360	6360	6359	6360	6359	6361	6360
16	75	38.3	OFF	6364	6354	6358	6357	6364	6363	6355	6363	6365	6364
17	80	38.4	OFF	6349	6353	6350	6344	6349	6348	6347	6358	6350	6349
18	85	38	OFF	6379	6383	6382	6385	6381	6380	6382	6384	6383	6382
19	90	38	OFF	6382	6392	6381	6388	6391	6384	6385	6387	6388	6390

No	t (menit)	Suhu (°C)	Saklar	Hambatan/ R Masing - Masing Titik Telur (Ω)									
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	37.5	ON	6427	6451	6435	6430	6431	6437	6458	6449	6433	6431
2	5	37.8	OFF	6382	6398	6388	6377	6399	6402	6390	6391	6388	6389
3	10	38	OFF	6359	6360	6360	6360	6361	6360	6360	6359	6360	6361
4	15	38	OFF	6320	6321	6321	6321	6322	6321	6321	6320	6321	6322
5	20	38	OFF	6320	6321	6321	6321	6322	6321	6321	6320	6321	6322
6	25	38.1	OFF	6271	6273	6270	6278	6274	6279	6280	6274	6271	6277
7	30	38.1	OFF	6269	6270	6268	6276	6271	6276	6277	6272	6271	6275
8	35	38.3	OFF	6259	6257	6263	6261	6260	6266	6256	6254	6256	6267
9	40	38.5	OFF	6239	6240	6240	6240	6241	6240	6240	6239	6240	6241
10	45	38.5	OFF	6245	6240	6247	6243	6242	6240	6242	6244	6241	6246
11	50	38.4	OFF	6248	6249	6249	6249	6250	6249	6249	6248	6249	6250
12	55	38.2	OFF	6268	6279	6268	6269	6270	6281	6279	6258	6268	6277
13	60	38.2	OFF	6277	6282	6280	6279	6272	6290	6294	6268	6289	6291
14	65	38	OFF	6359	6360	6360	6360	6361	6360	6360	6359	6360	6361
15	70	38	OFF	6359	6360	6360	6360	6361	6360	6360	6359	6360	6361
16	75	38.3	OFF	6363	6364	6364	6364	6365	6364	6364	6363	6353	6365
17	80	38.4	OFF	6348	6349	6359	6356	6350	6349	6351	6348	6345	6350
18	85	38	OFF	6381	6382	6385	6382	6387	6381	6382	6381	6383	6383
19	90	38	OFF	6380	6386	6382	6389	6390	6385	6384	6386	6389	6386

LAMPIRAN 3. Tabel Data Tegangan *Output* Transformator *Step – Down* Pada *Software Spectra Plus*.

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
1	4718.617	0.6897	33	4719.3422	0.705
2	4718.6394	0.5921	34	4719.3651	0.6836
3	4718.6623	0.6012	35	4719.3875	0.5799
4	4718.6847	0.6073	36	4719.4104	0.6317
5	4718.7076	0.6073	37	4719.4333	0.586
6	4718.73	0.6073	38	4719.4557	0.6012
7	4718.7529	0.6226	39	4719.4786	0.5493
8	4718.7753	0.5676	40	4719.501	0.6531
9	4718.7982	0.589	41	4719.5239	0.6867
10	4718.821	0.5554	42	4719.5463	0.647
11	4718.8435	0.5646	43	4719.5692	0.7141
12	4718.8663	0.6531	44	4719.5916	0.5646
13	4718.8888	0.6165	45	4719.6145	0.5829
14	4718.9116	0.6073	46	4719.6374	0.6043
15	4718.9341	0.586	47	4719.6598	0.6256
16	4718.9569	0.6378	48	4719.6827	0.586
17	4718.9794	0.5921	49	4719.7051	0.6165
18	4719.0022	0.6165	50	4719.728	0.6195
19	4719.0251	0.5585	51	4719.7504	0.6043
20	4719.0475	0.6439	52	4719.7733	0.6226
21	4719.0704	0.6623	53	4719.7957	0.5829
22	4719.0928	0.6134	54	4719.8186	0.5707
23	4719.1157	0.6836	55	4719.8415	0.5951
24	4719.1381	0.6134	56	4719.8639	0.6012
25	4719.161	0.6623	57	4719.8868	0.6073
26	4719.1834	0.6256	58	4719.9092	0.528
27	4719.2063	0.6287	59	4719.9321	0.6012
28	4719.2292	0.6714	60	4719.9545	0.5799
29	4719.2516	0.6989	61	4719.9774	0.589
30	4719.2745	0.6256	62	4719.9998	0.586
31	4719.2969	0.6897	63	4720.0227	0.5493
32	4719.3198	0.6897	64	4720.0456	0.6195

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
65	4720.068	0.6867	97	4720.7937	0.0397
66	4720.0909	0.5646	98	4720.8161	0.0732
67	4720.1133	0.531	99	4720.839	0.1312
68	4720.1362	0.5371	100	4720.8619	0.0916
69	4720.1586	0.5341	101	4720.8843	0.061
70	4720.1815	0.5707	102	4720.9072	-0.0641
71	4720.2039	0.5768	103	4720.9296	0.0366
72	4720.2268	0.5585	104	4720.9525	-0.0061
73	4720.2497	0.4883	105	4720.9749	-0.0641
74	4720.2721	0.4547	106	4720.9978	-0.0031
75	4720.295	0.4944	107	4721.0202	-0.0366
76	4720.3174	0.4517	108	4721.0431	-0.0977
77	4720.3403	0.351	109	4721.0655	-0.116
78	4720.3627	0.354	110	4721.0884	-0.0671
79	4720.3856	0.2533	111	4721.1113	-0.0519
80	4720.408	0.354	112	4721.1337	-0.0763
81	4720.4309	0.3418	113	4721.1566	-0.0214
82	4720.4537	0.238	114	4721.179	-0.0855
83	4720.4762	0.1526	115	4721.2019	-0.1709
84	4720.499	0.177	116	4721.2243	-0.0702
85	4720.5215	0.1953	117	4721.2472	-0.1495
86	4720.5443	0.1984	118	4721.2696	0
87	4720.5667	0.1465	119	4721.2925	-0.0732
88	4720.5896	0.1526	120	4721.3154	-0.1251
89	4720.612	0.1129	121	4721.3378	-0.058
90	4720.6349	0.1465	122	4721.3607	-0.1282
91	4720.6578	0.1862	123	4721.3831	-0.0916
92	4720.6802	0.0702	124	4721.406	-0.1587
93	4720.7031	0.1404	125	4721.4284	-0.0793
94	4720.7255	0.1007	126	4721.4513	-0.1282
95	4720.7484	0.0885	127	4721.4737	-0.0488
96	4720.7708	0.058	128	4721.4966	-0.0763

m ke -	t x 10 ^-4 (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ^-4 (sekon)	Amplitudo (mV)
129	4721.5195	-0.0824	161	4722.2447	-0.0977
130	4721.5419	-0.1038	162	4722.2676	-0.1343
131	4721.5648	-0.119	163	4722.29	-0.1495
132	4721.5872	-0.0702	164	4722.3129	-0.0885
133	4721.6101	-0.174	165	4722.3358	-0.1587
134	4721.6325	-0.1648	166	4722.3582	-0.119
135	4721.6554	-0.1923	167	4722.3811	-0.0488
136	4721.6778	-0.1282	168	4722.4035	-0.1221
137	4721.7007	-0.1404	169	4722.4264	-0.116
138	4721.7236	-0.0916	170	4722.4488	-0.177
139	4721.746	-0.116	171	4722.4717	-0.116
140	4721.7689	-0.2045	172	4722.4941	-0.1007
141	4721.7913	-0.174	173	4722.517	-0.1587
142	4721.8142	-0.177	174	4722.5399	-0.1221
143	4721.8366	-0.1526	175	4722.5623	-0.0824
144	4721.8595	-0.1648	176	4722.5852	-0.1495
145	4721.8819	-0.1953	177	4722.6076	-0.058
146	4721.9048	-0.1343	178	4722.6305	-0.0885
147	4721.9276	-0.0946	179	4722.6529	-0.0824
148	4721.9501	-0.1465	180	4722.6758	-0.1068
149	4721.9729	-0.1984	181	4722.6982	-0.0549
150	4721.9954	-0.1709	182	4722.7211	-0.119
151	4722.0182	-0.1556	183	4722.744	-0.119
152	4722.0407	-0.1465	184	4722.7664	-0.0824
153	4722.0635	-0.1465	185	4722.7893	-0.174
154	4722.086	-0.1343	186	4722.8117	-0.0946
155	4722.1088	-0.1556	187	4722.8346	-0.1404
156	4722.1317	-0.0641	188	4722.857	-0.1282
157	4722.1541	-0.116	189	4722.8799	-0.119
158	4722.177	-0.1251	190	4722.9023	-0.174
159	4722.1994	-0.1679	191	4722.9252	-0.0977
160	4722.2223	-0.174	192	4722.9481	-0.1526

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
193	4722.9705	-0.1251	225	4723.6962	-0.1343
194	4722.9934	-0.119	226	4723.7186	-0.0732
195	4723.0158	-0.0763	227	4723.7415	-0.2014
196	4723.0387	-0.1465	228	4723.7639	-0.0824
197	4723.0611	-0.1282	229	4723.7868	-0.116
198	4723.084	-0.177	230	4723.8097	-0.0397
199	4723.1064	-0.0244	231	4723.8321	-0.1373
200	4723.1293	-0.1343	232	4723.855	-0.0855
201	4723.1522	-0.116	233	4723.8774	-0.0977
202	4723.1746	-0.1404	234	4723.9003	-0.0824
203	4723.1975	-0.1038	235	4723.9227	-0.0641
204	4723.2199	-0.0885	236	4723.9456	-0.1251
205	4723.2428	-0.1465	237	4723.968	-0.1068
206	4723.2652	-0.0732	238	4723.9909	-0.1251
207	4723.2881	-0.1343	239	4724.0138	-0.1862
208	4723.3105	-0.0977	240	4724.0362	-0.1068
209	4723.3334	-0.1801	241	4724.0591	-0.1404
210	4723.3562	-0.0855	242	4724.0815	-0.1495
211	4723.3787	-0.0793	243	4724.1044	-0.1221
212	4723.4015	-0.0946	244	4724.1268	-0.1465
213	4723.424	-0.1953	245	4724.1497	-0.0519
214	4723.4468	-0.0977	246	4724.1721	-0.116
215	4723.4693	-0.2075	247	4724.195	-0.0488
216	4723.4921	-0.1526	248	4724.2179	-0.116
217	4723.5146	-0.1068	249	4724.2403	-0.1404
218	4723.5374	-0.2045	250	4724.2632	-0.1221
219	4723.5599	-0.0061	251	4724.2856	-0.1221
220	4723.5827	-0.1953	252	4724.3085	-0.1068
221	4723.6056	-0.0763	253	4724.3309	-0.1709
222	4723.628	-0.1221	254	4724.3538	-0.1221
223	4723.6509	-0.1465	255	4724.3762	-0.0885
224	4723.6733	-0.1526	256	4724.3991	-0.1556

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
257	4724.422	-0.1526	289	4725.1472	-0.1099
258	4724.4444	-0.0641	290	4725.1701	-0.119
259	4724.4673	-0.1434	291	4725.1925	-0.061
260	4724.4897	-0.0946	292	4725.2154	-0.1465
261	4724.5126	-0.1587	293	4725.2383	-0.1068
262	4724.535	-0.0946	294	4725.2607	-0.119
263	4724.5579	-0.1495	295	4725.2836	-0.1343
264	4724.5803	-0.174	296	4725.306	-0.0855
265	4724.6032	-0.1587	297	4725.3289	-0.058
266	4724.6261	-0.2014	298	4725.3513	-0.1495
267	4724.6485	-0.1679	299	4725.3742	-0.174
268	4724.6714	-0.1434	300	4725.3966	-0.061
269	4724.6938	-0.1099	301	4725.4195	-0.1526
270	4724.7167	-0.1465	302	4725.4424	-0.1495
271	4724.7391	-0.174	303	4725.4648	-0.1373
272	4724.762	-0.1709	304	4725.4877	-0.1129
273	4724.7844	-0.0977	305	4725.5101	-0.0671
274	4724.8073	-0.1251	306	4725.533	-0.1343
275	4724.8302	-0.0824	307	4725.5554	-0.1221
276	4724.8526	-0.1282	308	4725.5783	-0.1648
277	4724.8755	-0.1129	309	4725.6007	-0.0977
278	4724.8979	-0.1617	310	4725.6236	-0.0946
279	4724.9207	-0.1556	311	4725.6465	-0.1099
280	4724.9432	-0.1373	312	4725.6689	-0.1679
281	4724.966	-0.1556	313	4725.6918	-0.1526
282	4724.9885	-0.1373	314	4725.7142	-0.1495
283	4725.0113	-0.0763	315	4725.7371	-0.1526
284	4725.0342	-0.1251	316	4725.7595	-0.1556
285	4725.0566	-0.1648	317	4725.7824	-0.2075
286	4725.0795	-0.1129	318	4725.8048	-0.1007
287	4725.1019	-0.1648	319	4725.8277	-0.1923
288	4725.1248	-0.1099	320	4725.8501	-0.1679

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
321	4725.873	-0.1129	353	4726.5987	-0.2075
322	4725.8959	-0.0702	354	4726.6212	-0.2594
323	4725.9183	-0.1343	355	4726.644	-0.2228
324	4725.9412	-0.1526	356	4726.6665	-0.3265
325	4725.9636	-0.1221	357	4726.6893	-0.238
326	4725.9865	-0.1129	358	4726.7122	-0.2655
327	4726.0089	-0.116	359	4726.7346	-0.2777
328	4726.0318	-0.1465	360	4726.7575	-0.2411
329	4726.0542	-0.1038	361	4726.7799	-0.174
330	4726.0771	-0.1709	362	4726.8028	-0.1984
331	4726.1	-0.1679	363	4726.8252	-0.1984
332	4726.1224	-0.0946	364	4726.8481	-0.2441
333	4726.1453	-0.1648	365	4726.8705	-0.1801
334	4726.1677	-0.1282	366	4726.8934	-0.1556
335	4726.1906	-0.1373	367	4726.9163	-0.1312
336	4726.213	-0.1831	368	4726.9387	-0.1984
337	4726.2359	-0.1923	369	4726.9616	-0.2136
338	4726.2583	-0.0977	370	4726.984	-0.1221
339	4726.2812	-0.2106	371	4727.0069	-0.1984
340	4726.3041	-0.0671	372	4727.0293	-0.119
341	4726.3265	-0.1343	373	4727.0522	-0.177
342	4726.3494	-0.119	374	4727.0746	-0.1282
343	4726.3718	-0.1434	375	4727.0975	-0.1404
344	4726.3947	-0.1862	376	4727.1204	-0.1679
345	4726.4171	-0.2197	377	4727.1428	-0.1068
346	4726.44	-0.1831	378	4727.1657	-0.1129
347	4726.4624	-0.1404	379	4727.1881	-0.0977
348	4726.4853	-0.2258	380	4727.211	-0.116
349	4726.5081	-0.1892	381	4727.2334	-0.1587
350	4726.5306	-0.1831	382	4727.2563	-0.119
351	4726.5534	-0.235	383	4727.2787	-0.1465
352	4726.5759	-0.1984	384	4727.3016	-0.0427

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
385	4727.3245	-0.1282	417	4728.0498	-0.1282
386	4727.3469	-0.0641	418	4728.0726	-0.1495
387	4727.3698	-0.0549	419	4728.0951	-0.238
388	4727.3922	-0.1679	420	4728.1179	-0.2014
389	4727.4151	-0.1282	421	4728.1404	-0.0946
390	4727.4375	-0.1404	422	4728.1632	-0.1465
391	4727.4604	-0.0671	423	4728.1861	-0.2197
392	4727.4828	-0.1526	424	4728.2085	-0.1709
393	4727.5057	-0.119	425	4728.2314	-0.1953
394	4727.5286	-0.0702	426	4728.2538	-0.1984
395	4727.551	-0.177	427	4728.2767	-0.2472
396	4727.5739	-0.0671	428	4728.2991	-0.2014
397	4727.5963	-0.1099	429	4728.322	-0.119
398	4727.6192	-0.1373	430	4728.3444	-0.3296
399	4727.6416	-0.0824	431	4728.3673	-0.1648
400	4727.6645	-0.116	432	4728.3902	-0.2167
401	4727.6869	-0.1251	433	4728.4126	-0.1617
402	4727.7098	-0.1282	434	4728.4355	-0.1984
403	4727.7327	-0.1007	435	4728.4579	-0.2411
404	4727.7551	-0.0549	436	4728.4808	-0.1679
405	4727.778	-0.1465	437	4728.5032	-0.235
406	4727.8004	-0.0397	438	4728.5261	-0.1373
407	4727.8233	-0.0458	439	4728.5485	-0.3113
408	4727.8457	-0.1495	440	4728.5714	-0.2289
409	4727.8686	-0.0977	441	4728.5943	-0.2075
410	4727.891	-0.1556	442	4728.6167	-0.2716
411	4727.9139	-0.0519	443	4728.6396	-0.2289
412	4727.9367	-0.1465	444	4728.662	-0.2441
413	4727.9592	-0.119	445	4728.6849	-0.2228
414	4727.982	-0.0855	446	4728.7073	-0.2441
415	4728.0045	-0.116	447	4728.7302	-0.2808
416	4728.0273	-0.0855	448	4728.7526	-0.1648

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
449	4728.7755	-0.3327	481	4729.5012	-0.1068
450	4728.7984	-0.2289	482	4729.5237	-0.1862
451	4728.8208	-0.2472	483	4729.5465	-0.1373
452	4728.8437	-0.2594	484	4729.569	-0.1984
453	4728.8661	-0.2564	485	4729.5918	-0.1709
454	4728.889	-0.2441	486	4729.6147	-0.0855
455	4728.9114	-0.2289	487	4729.6371	-0.116
456	4728.9343	-0.2472	488	4729.66	-0.1068
457	4728.9567	-0.1068	489	4729.6824	-0.1404
458	4728.9796	-0.2106	490	4729.7053	-0.1373
459	4729.0025	-0.1556	491	4729.7277	-0.1343
460	4729.0249	-0.235	492	4729.7506	-0.0702
461	4729.0478	-0.2472	493	4729.773	-0.1007
462	4729.0702	-0.1221	494	4729.7959	-0.1068
463	4729.0931	-0.1648	495	4729.8188	-0.1495
464	4729.1155	-0.2258	496	4729.8412	-0.0977
465	4729.1384	-0.1831	497	4729.8641	-0.1587
466	4729.1608	-0.1679	498	4729.8865	-0.1129
467	4729.1837	-0.2289	499	4729.9094	-0.058
468	4729.2066	-0.2075	500	4729.9318	-0.1221
469	4729.229	-0.1709	501	4729.9547	-0.0855
470	4729.2519	-0.1953	502	4729.9771	-0.1251
471	4729.2743	-0.2716	503	4730	-0.1404
472	4729.2972	-0.238	504	4730.0229	-0.0855
473	4729.3196	-0.2777	505	4730.0453	-0.1221
474	4729.3425	-0.1679	506	4730.0682	0
475	4729.3649	-0.238	507	4730.0906	-0.0153
476	4729.3878	-0.2655	508	4730.1135	-0.0946
477	4729.4106	-0.2258	509	4730.1359	-0.1038
478	4729.4331	-0.2869	510	4730.1588	0.0336
479	4729.4559	-0.1404	511	4730.1812	-0.1251
480	4729.4784	-0.235	512	4730.2041	-0.1709

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
513	4730.227	-0.0061	545	4730.9523	-0.2106
514	4730.2494	-0.1404	546	4730.9752	-0.0855
515	4730.2723	-0.0671	547	4730.9976	-0.1282
516	4730.2947	-0.1221	548	4731.0205	-0.0641
517	4730.3176	-0.1312	549	4731.0429	-0.1007
518	4730.34	-0.0916	550	4731.0658	-0.1129
519	4730.3629	-0.1068	551	4731.0886	-0.1251
520	4730.3853	-0.0671	552	4731.111	-0.1282
521	4730.4082	-0.1007	553	4731.1339	-0.1526
522	4730.4306	-0.1007	554	4731.1563	-0.1892
523	4730.4535	-0.0977	555	4731.1792	-0.116
524	4730.4764	-0.1099	556	4731.2016	-0.1648
525	4730.4988	-0.0671	557	4731.2245	-0.1282
526	4730.5217	-0.1129	558	4731.2469	-0.1465
527	4730.5441	-0.1007	559	4731.2698	-0.1221
528	4730.567	-0.0427	560	4731.2927	-0.0275
529	4730.5894	-0.119	561	4731.3151	-0.0641
530	4730.6123	-0.0946	562	4731.338	-0.061
531	4730.6347	-0.1099	563	4731.3604	-0.0641
532	4730.6576	-0.119	564	4731.3833	-0.0885
533	4730.6805	-0.1129	565	4731.4057	-0.0702
534	4730.7029	-0.0732	566	4731.4286	-0.0183
535	4730.7258	-0.1251	567	4731.451	-0.0916
536	4730.7482	-0.0732	568	4731.4739	-0.1373
537	4730.7711	-0.0885	569	4731.4968	-0.1129
538	4730.7935	-0.1862	570	4731.5192	-0.0824
539	4730.8164	-0.0336	571	4731.5421	-0.1862
540	4730.8388	-0.1465	572	4731.5645	-0.1038
541	4730.8617	-0.0977	573	4731.5874	-0.1679
542	4730.8846	-0.116	574	4731.6098	-0.2289
543	4730.907	-0.1007	575	4731.6327	-0.116
544	4730.9299	-0.1038	576	4731.6551	-0.1648

m ke -	t x 10 ^-4 (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ^-4 (sekon)	Amplitudo (mV)
641	4733.129	-0.0458	673	4733.8548	-0.1099
642	4733.1519	-0.1312	674	4733.8777	-0.1373
643	4733.1748	0.0366	675	4733.9001	-0.0641
644	4733.1972	-0.0153	676	4733.923	-0.0885
645	4733.2201	-0.0855	677	4733.9454	-0.0946
646	4733.2425	-0.0214	678	4733.9683	-0.0763
647	4733.2654	-0.0305	679	4733.9911	-0.0793
648	4733.2878	-0.0763	680	4734.0136	-0.0732
649	4733.3107	-0.0275	681	4734.0364	-0.0763
650	4733.3331	-0.0214	682	4734.0589	-0.0732
651	4733.356	-0.0458	683	4734.0817	-0.1343
652	4733.3789	-0.0122	684	4734.1042	-0.1495
653	4733.4013	-0.1282	685	4734.127	-0.0793
654	4733.4242	-0.116	686	4734.1495	-0.0946
655	4733.4466	-0.0092	687	4734.1723	-0.0763
656	4733.4695	-0.0977	688	4734.1952	-0.1099
657	4733.4919	-0.0732	689	4734.2176	-0.1282
658	4733.5148	-0.0793	690	4734.2405	-0.0702
659	4733.5372	-0.0305	691	4734.2629	-0.1038
660	4733.5601	-0.061	692	4734.2858	-0.058
661	4733.583	-0.0793	693	4734.3082	-0.0244
662	4733.6054	-0.058	694	4734.3311	-0.1221
663	4733.6283	-0.0671	695	4734.3535	-0.0427
664	4733.6507	-0.0671	696	4734.3764	-0.1343
665	4733.6736	-0.1251	697	4734.3993	-0.1038
666	4733.696	-0.061	698	4734.4217	-0.1068
667	4733.7189	-0.0092	699	4734.4446	-0.1465
668	4733.7413	-0.1007	700	4734.467	-0.0885
669	4733.7642	-0.0916	701	4734.4899	-0.1404
670	4733.7871	-0.0549	702	4734.5123	-0.0397
671	4733.8095	-0.0885	703	4734.5352	-0.1831
672	4733.8324	-0.1099	704	4734.5576	-0.0702

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
705	4734.5805	-0.1007	737	4735.3063	0.0122
706	4734.6034	-0.1251	738	4735.3287	-0.0763
707	4734.6258	-0.1343	739	4735.3516	-0.0488
708	4734.6487	-0.1556	740	4735.374	-0.0732
709	4734.6711	-0.1221	741	4735.3969	-0.0427
710	4734.694	-0.1495	742	4735.4193	-0.0549
711	4734.7164	-0.0732	743	4735.4422	-0.0641
712	4734.7393	-0.0275	744	4735.465	-0.0519
713	4734.7617	-0.1099	745	4735.4875	-0.0458
714	4734.7846	-0.1007	746	4735.5103	-0.0427
715	4734.8075	-0.061	747	4735.5328	0
716	4734.8299	-0.0855	748	4735.5556	-0.0732
717	4734.8528	-0.0793	749	4735.5781	-0.0092
718	4734.8752	-0.1343	750	4735.6009	-0.0946
719	4734.8981	-0.0763	751	4735.6234	-0.0732
720	4734.9205	-0.0946	752	4735.6462	-0.0855
721	4734.9434	-0.1251	753	4735.6691	-0.0885
722	4734.9658	-0.119	754	4735.6915	0.0793
723	4734.9887	-0.1495	755	4735.7144	-0.058
724	4735.0111	-0.0336	756	4735.7368	-0.1007
725	4735.034	-0.1648	757	4735.7597	-0.119
726	4735.0569	-0.0916	758	4735.7821	-0.061
727	4735.0793	-0.0977	759	4735.805	-0.0763
728	4735.1022	-0.0458	760	4735.8274	-0.0366
729	4735.1246	-0.0458	761	4735.8503	-0.0214
730	4735.1475	-0.1038	762	4735.8732	-0.0763
731	4735.1699	-0.058	763	4735.8956	-0.0519
732	4735.1928	-0.0275	764	4735.9185	-0.0793
733	4735.2152	-0.0336	765	4735.9409	-0.0702
734	4735.2381	-0.0732	766	4735.9638	-0.0031
735	4735.261	-0.1099	767	4735.9862	-0.0885
736	4735.2834	-0.0397	768	4736.0091	-0.1251

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
769	4736.0315	-0.0519	801	4736.7573	0.0885
770	4736.0544	-0.061	802	4736.7802	0.0732
771	4736.0773	-0.0732	803	4736.8026	0.0946
772	4736.0997	-0.1038	804	4736.8255	-0.0183
773	4736.1226	-0.0092	805	4736.8479	0.119
774	4736.145	-0.0244	806	4736.8708	0.0885
775	4736.1679	-0.0244	807	4736.8937	0.1007
776	4736.1903	-0.0031	808	4736.9161	0.061
777	4736.2132	-0.0793	809	4736.939	0.0458
778	4736.2356	0.0061	810	4736.9614	0.1251
779	4736.2585	0.0214	811	4736.9843	0.0977
780	4736.2814	-0.058	812	4737.0067	0.0763
781	4736.3038	-0.0336	813	4737.0296	0.0763
782	4736.3267	-0.0732	814	4737.052	0.1129
783	4736.3491	-0.0397	815	4737.0749	0.2075
784	4736.372	-0.0153	816	4737.0977	0.1801
785	4736.3944	-0.0488	817	4737.1202	0.1984
786	4736.4173	0.0244	818	4737.143	0.1984
787	4736.4397	-0.058	819	4737.1655	0.1709
788	4736.4626	-0.0549	820	4737.1883	0.1709
789	4736.4855	0.0366	821	4737.2108	0.1984
790	4736.5079	0	822	4737.2336	0.238
791	4736.5308	0.0366	823	4737.2561	0.2503
792	4736.5532	-0.0763	824	4737.2789	0.296
793	4736.5761	-0.1129	825	4737.3013	0.2503
794	4736.5985	0.0183	826	4737.3242	0.3143
795	4736.6214	-0.0122	827	4737.3471	0.2472
796	4736.6438	0.0397	828	4737.3695	0.2167
797	4736.6667	0.0427	829	4737.3924	0.3021
798	4736.6896	0.0031	830	4737.4148	0.2808
799	4736.712	0.0702	831	4737.4377	0.2869
800	4736.7349	0.0519	832	4737.4601	0.3021

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)	m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
833	4737.483	0.3632	865	4738.2088	0.5432
834	4737.5054	0.3479	866	4738.2312	0.6592
835	4737.5283	0.3479	867	4738.2541	0.5646
836	4737.5512	0.3632	868	4738.2765	0.6439
837	4737.5736	0.412	869	4738.2994	0.7538
838	4737.5965	0.4761	870	4738.3218	0.589
839	4737.6189	0.4303	871	4738.3447	0.6745
840	4737.6418	0.4089	872	4738.3676	0.708
841	4737.6642	0.4517	873	4738.39	0.5982
842	4737.6871	0.5036	874	4738.4129	0.6073
843	4737.7095	0.4975	875	4738.4353	0.6806
844	4737.7324	0.5066	876	4738.4582	0.5982
845	4737.7553	0.4608	877	4738.4806	0.7233
846	4737.7777	0.4944	878	4738.5035	0.6165
847	4737.8006	0.4913	879	4738.5259	0.6439
848	4737.823	0.4486	880	4738.5488	0.6561
849	4737.8459	0.5615	881	4738.5716	0.5341
850	4737.8683	0.5768	882	4738.5941	0.6195
851	4737.8912	0.6043	883	4738.6169	0.6653
852	4737.9136	0.5799	884	4738.6394	0.6012
853	4737.9365	0.5646	885	4738.6622	0.6104
854	4737.9594	0.5982	886	4738.6847	0.7019
855	4737.9818	0.6134	887	4738.7075	0.705
856	4738.0047	0.5829	888	4738.73	0.6531
857	4738.0271	0.6378	889	4738.7528	0.6745
858	4738.05	0.6317	890	4738.7757	0.7385
859	4738.0724	0.5615	891	4738.7981	0.6958
860	4738.0953	0.6287	892	4738.821	0.6958
861	4738.1177	0.6439	893	4738.8434	0.6195
862	4738.1406	0.5524	894	4738.8663	0.6623
863	4738.1635	0.6134	895	4738.8887	0.5432
864	4738.1859	0.5402	896	4738.9116	0.6439

m ke -	t x 10 ⁻⁴ (sekon)	Amplitudo (mV)
897	4738.934	0.6653
898	4738.9569	0.6134
899	4738.9798	0.6623
900	4739.0022	0.6745
901	4739.0251	0.6012
902	4739.0475	0.6409
903	4739.0704	0.5921
904	4739.0928	0.6043
905	4739.1157	0.6439
906	4739.1381	0.6195
907	4739.161	0.65
908	4739.1839	0.5371
909	4739.2063	0.6378
910	4739.2292	0.6195
911	4739.2516	0.6531
912	4739.2745	0.7263
913	4739.2969	0.6287
914	4739.3198	0.6989
915	4739.3422	0.5982
916	4739.3651	0.6104
917	4739.388	0.6623
918	4739.4104	0.6806
919	4739.4333	0.7202
920	4739.4557	0.6165
921	4739.4786	0.6165
922	4739.501	0.6409
923	4739.5239	0.6531
924	4739.5463	0.5768
925	4739.5692	0.5982

LAMPIRAN 4. Dokumentasi Hasil Penetasan dan Alat



(a) Penetasan Tahap Pertama



(b) Penetasan Tahap Kedua



(c) Mesin Penetas Itik Muscovy

